

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ**

*Десятої всеукраїнської молодіжної  
науково-технічної конференції*

**“МАШИНОБУДУВАННЯ УКРАЇНИ ОЧИМА МОЛОДИХ:  
прогресивні ідеї – наука – виробництво”**

*26 – 30 жовтня 2010 року*

Суми – 2010

Міністерство освіти і науки України  
Дніпродзержинський державний технічний університет  
Донбаська державна машинобудівна академія  
Донецький національний технічний університет  
Житомирський державний технологічний університет  
Запорізький національний технічний університет  
Інститут надтвердих матеріалів  
ім. В.М. Бакуля НАН України  
Кіровоградський національний технічний університет  
Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського  
Кримський державний  
індустріально-педагогічний університет  
Луцький національний технічний університет  
Національна металургійна академія України  
Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут"  
Національний технічний університет  
"Харківський політехнічний інститут"  
Одеський національний політехнічний університет  
Севастопольський національний технічний університет  
Сумський державний університет  
Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя  
Хмельницький національний університет  
Чернігівський державний технологічний університет

## ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

*Десятої всеукраїнської молодіжної  
науково-технічної конференції*

**“МАШИНОБУДУВАННЯ УКРАЇНИ ОЧИМА МОЛОДИХ:  
прогресивні ідеї – наука – виробництво”**

*26 – 30 жовтня 2010 року*

Суми – 2010

УДК 621.9

Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: тези доповідей Десятої всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції. 26–30 жовтня 2010 р., м. Суми. – Суми : Вид-во СумДУ, 2010. – 149 с.

Збірник містить тези доповідей молодих вчених-машинобудівників України, присвячені проблемам технології машинобудування, теоретичним та експериментальним дослідженням процесів механічної обробки, удосконаленню різального інструменту та новітнім досягненням у верстатобудуванні.

Тези доповідей можуть бути корисними студентам, аспірантам, науковим та інженерно-технічним робітникам машинобудівного профілю.

## ВПЛИВ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ НА ТОПОГРАФІЮ ЗМІЦНЕНОЇ ПОВЕРХНІ

Г. С. Барабаш, В. С. Антонюк, д.т.н., проф.  
Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”, Київ

Електроіскрове легування широко використовується для зміцнення робочих поверхонь деталей та механізмів, які працюють в умовах тертя. В процесі електроіскрового легування відбувається електрична ерозія в газовому середовищі і полярне перенесення легуючого матеріалу електрода на зміцнюючу поверхню.

Для визначення впливу технологічних параметрів процесу електроіскрової обробки на топографію зміцненої поверхні проведено дослідження зразків сталі марки М76. Електроіскрове легування проводили за допомогою однофазного генератора постійного струму з частотою імпульсів до 100 Гц і потужністю до 25 кВт дисковим електродом із сталі 65Г, при цьому щільність потоку досягала  $10^5\text{-}10^6$  А/см<sup>2</sup>, а температура в каналі розряду сягала  $(8 \cdot 10)^3$  °С.

Вивчення мікроструктури зразків сталі, яка отримана електроімпульсною обробкою здійснювали за допомогою металографічного мікроскопу МІМ-10 та електронного мікроскопу Jeol Т-20. Розмір кратерів, їх розташування та регулярність вивчали за допомогою мікроскопу МБС-9 при 60-кратному збільшенні.

На зміцненій поверхні зразків спостерігаються світлі та темні ділянки, причому, світлі ділянки являють собою верхні шари матеріалу навколо кратеру.

Електронно-мікроскопічні та металографічні дослідження поперечного розрізу поверхневого шару сформованого дією імпульсного електричного розряду показали наявність трьох зон – „білого шару”, що не піддається травленню і не виявляється металографічним методом, під яким знаходиться безпористий шар товщиною до 80 мкм, що складається з мартенситу та карбідів. Нижче розміщується пластична перехідна зона товщиною 35-40 мкм, яка виникає за рахунок протікання процесів взаємної дифузії матеріалу електроду. Мікроструктура її представлена троститом з карбідною сіткою.

Мікроструктура матеріалу основи складається з фериту, перліту та цементитної сітки. З наведених даних видно, що під дією електричного розряду спостерігається помітне подрібнення структури поверхневого шару, що свідчить про його нагрівання до температури алотропного перетворення крупнозеренного  $\alpha$ -заліза в дрібнодисперсну  $\gamma$ -фазу, яка при наступному швидкому охолодженні знову переходить в  $\alpha$ -залізо без зміни розміру зерна. Високу швидкість охолодження, яка супроводжується значними змінами об'єму і, як наслідок, виникненням значних внутрішніх залишкових напружень розтягу, підтверджує наявність тріщин втоми на „білому шарі”.

Таким чином, проведені експериментальні дослідження показали, що під дією електричного розряду формується мозаїчне покриття градієнтного типу, топографія якого впливає на формування напружено-деформованого стану зміцнюваної поверхні і, як наслідок, на рівень механічних властивостей.

## **МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

К. С. Барандич, магістрант, С. П. Вислоух, к.т.н., доц.  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», Київ

Підвищення ефективності приладобудівного виробництва потребує вдосконалення технологічних процесів виготовлення деталей. Основним методом їх виготовлення є обробка матеріалів різанням. При виготовленні деталей приладів використовується велика кількість матеріалів, які відрізняються своїми параметрами: хімічним складом та фізико-механічними властивостями. Режими різання при проектуванні технологічних процесів зазвичай вибирають із нормативів, які є досить загальними. Згідно з цими нормативами, всі конструкційні матеріали за своїм хімічним складом та фізико-механічними параметрами поділені на групи. Кожній такій групі відповідають певні режими різання. Проте в одній групі можуть знаходитися матеріали, які суттєво відрізняються своїми властивостями. Отже, дана методика призначення режимів обробки не враховує особливостей кожного матеріалу. Відомо, що оброблюваність конструкційного матеріалу в значній мірі залежить від його хімічного складу та фізико-механічних характеристик. Тому виникає потреба встановити режими обробки будь якого досліджуваного конструкційного матеріалу, які відповідають його властивостям.

Питанням оброблюваності матеріалів займалося багато вчених та науковців. Вони пропонують визначати оброблюваність матеріалу різанням шляхом проведення довготривалих експериментальних досліджень і за

складною методикою, що вимагає значних витрат енергії та матеріалів.

Таким чином поставлена задача розробки методики визначення раціональних режимів різання конструкційних матеріалів, що буде економічною за часом визначення, витратами матеріалів та враховуватиме особливості оброблюваного матеріалу.

Аналіз методів обробки технологічної інформації показав, що доцільним для розв'язання поставленої задачі є методи багатомірного статистичного аналізу.

З метою об'єктивної класифікації конструкційних матеріалів, тобто поділу їх на групи за сукупністю характеристик (за хімічним складом та фізико-механічними параметрами), доцільно використати методи кластерного аналізу.

Дискримінантний аналіз дозволяє точно встановити класифікаційну групу, до якої відноситься новий або досліджуваний матеріал. Тобто так попередньо визначаються режими обробки даного матеріалу згідно з нормативами для даної класифікаційної групи.

Визначення раціональний режимів обробки конкретного матеріалу здійснюється шляхом застосування методів факторного аналізу. Ці методи дають можливість стиснути значні масиви початкової інформації про матеріали визначеної класифікаційної групи без втрати її інформативності. На основі отриманої інформації за спеціальними алгоритмами визначаються коефіцієнти оброблюваності кожного матеріалу даної групи, які дозволяють обчислити відносний коефіцієнт оброблюваності та реальні режими обробки будь якого матеріалу.

Розроблено алгоритми, що реалізують методику розв'язання поставленої задачі та виконано апробацію цих алгоритмів при визначенні раціональних режимів різання.

# **ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ЧАСТИЦ НАПЫЛЯЕМОГО МАТЕРИАЛА НА ПОЛУЧЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ГАЗОПЛАЗМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ ПОРОШКОВ**

А. Г. Басова, асп.

Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

Эффективное повышение производительности труда при ремонте цилиндров с использованием существующих технологических процессов практически невозможно. Необходимы качественно новые технологические процессы. К ним, прежде всего, следует отнести применение газотермического нанесения покрытий, позволяющее получать высокую точность и чистоту поверхности цилиндров без механической обработки.

Преимущества газоплазменного напыления состоят в высокой производительности процесса, локальности обработки, незначительном влиянии на подложку, возможности нанесения покрытий на изделия больших размеров, отсутствии ограничений на сочетания материалов покрытия и подложки, что позволяет охватить большую номенклатуру восстановления изношенных деталей.

К основным факторам, влияющим на прочность сцепления покрытия с основой, относятся: способ подготовки поверхности и используемый при этом абразивный материал. Для понимания процессов, происходящих при напылении, необходимо изучить особенности нагрева частиц напыляемого материала, их движения от сопла горелки до основы, условия соударения с ней, структуру переходной зоны между покрытием и основным материалом и связи между напыленными



частицами. На эти процессы оказывают влияние следующие факторы: метод и технология напыления; размеры и форма частиц напыляемого порошка; плотность, удельная теплоемкость, теплопроводность напыляемых материалов, степень их расплавления (оплавления); химические реакции при высоких температурах между частицами напыляемых материалов и между частицами и окружающей средой, их химическая активность по отношению к материалу основы и др.

Целью работы является обоснование применения газоплазменного напыления при ремонте полиграфического оборудования.

При газоплазменном напылении порошком используют порошковые напыляемые материалы. Порошковые материалы при движении в высокотемпературном потоке газа, истекающего с большой скоростью из горелок, напыляются на поверхность основного материала без изменения формы. При соударении напыляемых частиц с поверхностью основы частицы сцепляются с неровностями поверхности. Это возможно только при определенных скоростях и температуре капель и частиц.

В результате выполненных исследований установлено, что для восстановления поврежденных деталей полиграфических машин целесообразным является способ газоплазменного нанесения порошковых материалов при следующих режимах: скорость полета частиц стального порошка в диапазоне  $v = 140\text{--}180$  м/с; размер частиц напыляемого порошка стали в диапазоне  $d = 5\text{--}20$  мкм.

## **РОЗРОБКА МАШИН НА БАЗІ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ ДЛЯ КОГЕНЕРАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

М. Л. Білявський, к.т.н.

Дочірна компанія “Укртрансгаз”, Київ

Сучасний стрімкий розвиток енергозберігаючих технологій та машин для їх реалізації створює науково – технологічну основу для розробки способу розкриття скритого потенціалу економії енергетичних ресурсів та контролю над ними. Особливо актуальною така проблема постає в період залежності від іноземних енергопостачальних організацій, що не є допустимим для стратегічних галузей промисловості України. Довгостроковий розвиток енергетичного комплексу вітчизняної промисловості нерозривно пов’язаний з широкомасштабним використанням когенераційних технологій та прогресивних конструкцій машин для їх практичної реалізації. В розвиток когенераційних технологій внесли вагомий внесок провідні вчені Домніков О.Ю., Буданов В.А., Репін А.Л., Мамонов А.М., Козак Л.Ю., Карп І.М., Харитонов Д.О., Строков А.П., Шестопапов А.В., Бганцев В.М. та інші. Проте ними не була розглянута можливість поєднання принципу роботи теплового насоса та двигуна внутрішнього згорання. По шляху застосування когенераційних установок в роботі промислових підприємств пішли більшість розвинених країн Європи, такі як Англія, Німеччина, Австрія тощо. Враховуючи машинобудівний потенціал нашої держави та вигідне геополітичне розташування технологія когенерації відкриває райдужні перспективи. Так, наприклад Міжнародні організації, які займаються проблемами екології, енергоефективності, енергетики, газової

промисловості могли б розглянути можливості більш широкого використання когенераційних установок в газотранспортній системі та рекомендувати їх для переважного чи необхідного використання при проектуванні та будівництві нових і реконструкції діючих газопроводів з метою поліпшення екологічної ситуації. Разом з тим, використання когенераційних установок при транспортуванні природного газу з Росії в країни Європи у перспективі дозволить зменшити використання паливного газу. Крім того, актуальною сферою використання когенераційних установок є компресорні станції на яких працюють двигуни з ККД, який не досягає 40% і в майбутньому у двигунів нового покоління цей показник не перевищить 50%.

Для досягнення поставленої мети автором пропонується прийняти когенераційну установку, у якій передбачається поєднати роботу двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) та теплового насоса, що є основною відмінністю від існуючих прототипів. Когенераційна установка виготовлена на базі традиційного чотирициліндрового ДВЗ, в якому два циліндри працюють у якості компресора теплового насоса, а інші два циліндри служать приводом, компресора і електрогенератора. В процесі роботи теплового агрегату ДВЗ, утворюється тепло. В розробленій когенераційній установці, на відміну від традиційних підходів, тепло відпрацьованих газів, являється робочим тілом теплового насоса. У процесі випуску гарячі відпрацьовані гази потрапляють у проміжний теплообмінник де віддають енергію охолоджувальній рідині, після чого, охолоджені до певної температури гази засмоктуються компресором. У циліндрах компресора, під час стиску, гази розігріваються до високої температури де одночасно відають теплову

енергію сорочці охолодження двигуна. Після виходу газів з компресора, у фазі розширення, температура газів різко знижується, у зв'язку з проходженням ізотермічного процесу. В результаті компресування відпрацьованих газів вдається понизити температуру відпрацьованих газів що викидаються в атмосферу, тим самим підвищити ККД установки по критерію виробництва тепла. Одночасно надлишок потужності механічної енергії силового агрегату, використовується для виробництва електроенергії. В роботі вперше теоретично обґрунтовано та запропоновано конструкцію когенераційної установки та спосіб когенерації, який передбачає поєднання ефекту двигуна внутрішнього згорання та теплового насосу. Доведено, що такий метод дає можливість зменшити фінансові витрати газотранспортного підприємства на енергетичні ресурси: електрична, тепла та механічна енергії. На підставі представлених конструктивних рішень (модульний принцип побудови, порівняно раціональні габаритні розміри з потужністю установки) доведено практичну цінність розробленої когенераційної установки. Результати експериментальних досліджень дають можливість створити програмне забезпечення для контролю за роботою когенераційної установки. По результатам проведених досліджень подана заявка на видачу патенту України на винахід, отримано позитивне рішення.

Прогнозований економічний ефект від впровадження когенераційної установки на об'єктах Дочірньої компанії “Укртрансгаз” становить близько 2 мільйонів гривень в рік.

## **СПОСІБ НАРІЗАННЯ ЗОВНІШНІХ ТА ВНУТРІШНІХ РІЗЬБ В ДЕТАЛЯХ З ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ**

М. Л. Білявський, к.т.н., Я. О. Шахбазов, д.т.н., проф.  
Українська академія друкарства, Львів

Різьбові поверхні широко застосовують у виробництві газотурбінних двигунів авіаційного, енергетичного, транспортного призначення для соціальної та військової сфери.

Серед деталей, які містять різьбові отвори: корпуси та корпусні елементи, диски, вали, блоки лопаток, елементи гідро - , пневмо – та паливної апаратури і т.п. Такі деталі мають конструктивні особливості: габарити, маса, форма, тип базування та відмінність у конструктивних матеріалах. В переважній більшості це залізобетонні сплави на титановій та нікелевій основі. Різьби відрізняються розміром номінального діаметра, довжиною профілю, тощо. Спільними факторами є: висока точність оброблених поверхонь, працездатність та собівартість виготовлення, а головне – уникнення браку та висока відповідальність за життя людей, які експлуатують машини, які містять у своєму складі різьбові поверхні.

На сьогоднішній день формоутворення внутрішньої та зовнішньої різьби реалізують у більшості випадків комплектами слюсарних інструментів, що знижує загальну ефективність технологічного процесу виготовлення деталей.

Технологія різьбофрезерування – доступний альтернативний спосіб обробки різьбових отворів. Така технологія серед усіх видів обробки різьби має ряд переваг, основні з яких: висока продуктивність, точність та стабільність. Проте, при реалізації технології різьбофрезерування отворів деталей виготовлених з

важкооброблюваних матеріалів виникають підвищенні значення осової та радіальної складової сили різання порівняно із різбофрезеруванням отворів стандартних матеріалів. Сила різання викликає деформації інструмента, що призводить до конусності сформованої поверхні. В такому випадку, з метою уникнення виходу з ладу різбонарізного інструмента та підвищення точності обробки отвору прийнято застосовувати багатопрохідну обробку, що знижує продуктивність технологічного процесу та призводить до значних матеріальних витрат. Таким чином, ефективне впровадження технології різбофрезерування при обробці отворів деталей машин виготовлених з важкооброблюваних матеріалів неможливе.

У зв'язку з цим виникає актуальна виробнича задача, що пов'язана з розробкою продуктивного способу нарізання зовнішніх та внутрішніх різьб в деталях з важкооброблюваних матеріалів. Таку задачу автори пропонують вирішити шляхом реалізації технології різання з попереднім пластичним деформуванням. Оскільки з робіт вітчизняних вчених Подураєва В.М., Ярославцева В.М., Полянчикова Ю.М., Амбросімова С.К., Посвятенка Е.К., Резанова А.І., Наумова Б.І., Усачьова Я.Г., Кодрика А.І., Крайнєва Д.В., Меламеда В.І., Давидюка В.І., Посвятенка Е.К. та зарубіжних вчених Enahoro H.E., Hrubec Jan, Keck Kurt, Schmidt Gerhard, Jurgен Leopold відомо, що технологія різання з попереднім пластичним деформуванням дає можливість: зменшити термосилові процеси в зоні обробки, за рахунок розподілення функцій різального інструмента по деформуванню та зрізання оброблюваного матеріалу на два джерела енергії – деформівний та різальний елементи; підвищити працездатність різального інструмента та забезпечити високу продуктивність праці, за рахунок

збільшення швидкості різання. Проте відсутні рекомендації, щодо реалізації технології різання з попереднім пластичним деформування при нарізанні різьби.

В зв'язку з цим, поставлена задача вирішується за рахунок заміни порядку операцій різання та поверхневого пластичного деформування розглянутих у способі – прототипі (авторське свідоцтво на винахід СРСР № 821003), який був розроблений Мирновим І.Я., Загородським В.В., Гольдфельдом М.Х.

В роботі була розроблена аналітична модель формування термосилових процесів в зоні комбінованої механічної обробки, яка дала можливість встановити вплив температурних деформацій на формування кінцевого профілю різьби. Теоретично досліджений вплив сили попереднього пластичного деформування та різання на деформації інструмента та оброблюваної деталі, що дає можливість управляти точністю утвореної різьби.

При обґрунтуванні економічної ефективності розробленого способу нарізання різьби була розглянута виробнича задача ДК «Укртрансгаз» по виготовленню зовнішніх та внутрішніх метричних різьб М20,30,36,42 в загальній кількості 40 тисяч штук / рік. По результатам проведених розрахунків був встановлений орієнтований економічний ефект 84 тисячі гривень.

В подальших дослідженнях планується провести виробничі впровадження та виготовити експериментальні моделі інструментів, які дали б можливість реалізувати розроблений спосіб нарізання внутрішніх та зовнішніх різьб.

# **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРУЖНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗЦЕТРИМАЧА НА СТІЙКІСТЬ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ ВЕРСТАТА ПІД ЧАС РІЗАННЯ**

С. В. Вакуленко, асист.

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”, Київ

Однією з причин виникнення автоколивань при різанні є зміна площі зрізу та сили різання внаслідок наявності координатного зв'язку між процесом різання та рухом за різними координатами пружної системи верстата. Координатний зв'язок виглядає як здатність пружної системи верстата при дії сили на вершину різця зміщуватись не тільки в напрямку вектора сили, але й в ортогональному напрямку. Це явище виникає завдяки тому, що жорсткість пружної системи верстата відрізняється в кожному напрямку, тобто існують вісі жорсткості, які не співпадають із загальними координатами верстата. Напрямок від вершини різця до центра жорсткості визначає вісь максимальної жорсткості, а перпендикулярний йому вісь мінімальної жорсткості. Положення центра жорсткості пружної системи визначається перетином ліній дії сил при яких відсутні кутові зміщення системи. Отже при дії сили різання вершина різця зміщується не тільки у дотичному напрямі, але й в нормальному напрямі до оброблювальної поверхні. За результатами експериментальних досліджень Кудінова В. А. доведено, що миттєва зміна швидкості різання, при наявних дотичних коливань, не впливає на характеристику процесу різання. Тому під час різання стійкість динамічної системи верстата найбільше залежить від наявності коливань в напрямку перпендикулярному до оброблювальної поверхні.



В пружній системі супорта токарного верстата присутні багато власних форм коливань, кожна з яких має власну частоту коливань. По кожній частоті коливань можна виділити еліпси переміщень, напрямки головних осей яких не співпадають із загальними осями координат верстата. Тобто, можна представити динамічну систему супорта як багатоланкову, із різними пружними властивостями, причому частина елементів системи при дотичному навантаженні буде переміщувати вершину різця в нормальному напрямку до оброблювальної поверхні. Також відомо, що розміри еліпсів переміщення зменшуються із збільшенням частоти коливань, відповідно й вплив координатного зв'язку кожної ланки пружної системи під час різання буде відрізнятися.

Частоти інтенсивних автоколивань наближуються до однієї із частот власних коливань домінуючої пружної системи, а саме до частоти коливання тієї ланки, що має найбільші розміри еліпсу переміщення. Якщо пружна система базового верстата має орієнтацію вісі максимальної жорсткості, що не співпадає із напрямком нормалі до оброблювальної поверхні, або не має явно виражених осей жорсткості, така система є потенційно нестійкою під час різання. Вирішенням цієї проблеми є використання додаткового оснащення із орієнтованим центром жорсткості, що дозволяє зменшити амплітуду автоколивань внаслідок координатного зв'язку. Значення частот власних коливань введеного в пружну систему супорту різцетримача повинні бути меншими ніж у супорта. Такий різцетримач виконує функції домінуючої пружної системи, забезпечуючи власними пружними та демпфуючими властивостями умови вібростійкої обробки.

## **ВОПРОСЫ МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СОТС НА ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ**

Э. Р. Ваниев<sup>1</sup>, Ю. И. Бесарабец<sup>2</sup>, к.т.н., П. В. Скрынник<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Крымский инженерно-педагогический университет,  
Симферополь

<sup>2</sup>Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт», Киев

Одним из перспективных путей повышения эффективности механической обработки и работоспособности инструмента является использование смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС).

Анализ результатов исследований влияния СОТС на процесс резания (даже при обработке одних и тех же материалов) показывает, что они имеют противоречивый характер. Поэтому установление влияния СОТС на процесс резания во взаимосвязи с другими факторами является актуальной задачей, которая ранее не рассматривалась.

В такой постановке эта задача относится к задаче разработки методики, обеспечивающей установление таких взаимосвязей, и которая может быть решена только при рассмотрении существующей.

Осуществление прогнозирования показателей эффективности СОТС при резании на основе математических моделей, является одним из наиболее перспективных методов для установления взаимосвязей СОТС с другими параметрами этого процесса.

Одним из методов, обеспечивающих получение по экспериментальным данным адекватных изучаемому процессу моделей, является метод группового учета аргументов.

Опыт моделирования процессов резания с

применением алгоритмов МГУА показывает, что этот метод обеспечивает построение математических моделей, которые пригодны для оптимизации параметров процесса и позволяет оптимально в заданных условиях управлять обработкой резанием.

Целью моделирования в рассматриваемом нами случае является установление влияния СОТС на режущий инструмент в условиях прерывистого резания при обработке различных материалов (сталей СТ45, Х18Н10Т и титанового сплава ВТ-22).

При использовании МГУА задача построения математической модели процесса резания по математической постановке может быть сформулирована как задача установления функциональной связи между выходным параметром и измеряемыми переменными, выбранными исследователем, в присутствии СОТС.

В качестве выходных параметров могут служить как параметры, определяющие конечные результаты процесса резания (стойкость, шероховатость, себестоимость и т.д.) так и характеристики явлений, сопровождающих этот процесс, и на основе которых можно определять влияние СОТС во взаимосвязи с другими факторами.

При построении модели процесса резания с использованием СОТС возникает задача определения такой характеристики как фактора исследуемого процесса, изменение которой характеризовало бы ту или иную СОТС, и которая была бы способна отразить влияние СОТС в процессе изменяющихся параметров механической обработки. Учитывая то, что резание оказывает особое действие на протекание контактных процессов между поверхностями инструмента и обрабатываемой заготовки, такой характеристикой может служить коэффициент трения.

# **ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ СОПРЯЖЕНИЯ ОТВЕРСТИЯ И ТОНКОСТЕННОГО ВАЛА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ (ГТД)**

Е. В. Вишнепольский, ст. преп.  
Запорожский национальный технический университет,  
Запорожье

Технологический процесс изготовления тонкостенных валов ГТД определяет геометрические и механические характеристики его поверхностного слоя, которые, в свою очередь, оказывают решающее влияние на срок службы и другие показатели надежности и долговечности изделий.

Повышение надежности тонкостенных валов ГТД выполняется путем снижения влияния конструктивных и технологических концентраторов напряжений (галтельные переходы между двумя диаметрами, поверхности сопряжения отверстия и вала, прижоги поверхности и т.д.).

В данной работе технологически решается задача повышения прочностных характеристик поверхности сопряжения отверстия и вала ГТД.

Применяемая на сегодняшний день технология предусматривает ручное полирование поверхности сопряжения. При этом форма поверхности сопряжения, которую необходимо получить, не оговаривается, и решающую роль играет мастерство рабочего. Точность формы поверхности сопряжения отверстия и вала оценивается визуально. Она должна быть радиусной, так как фаска создает большую концентрацию напряжений.

Концентрация напряжений, создаваемая отверстиями на поверхности вала, практически не меняется при их деформационном упрочнении. Поэтому

необходимо упрочнять непосредственно поверхность сопряжения отверстия и вала.

Актуальной задачей является обеспечение постоянства профиля сопряжения по периметру окружности и его упрочнение.

Процесс формирования скругления и дальнейшее его упрочнение должен быть управляемым.

Для обеспечения этого условия было разработано специальное приспособление, позволяющее с помощью одного копира формировать и упрочнять поверхность сопряжения.

Технология формирования профиля сопряжения отверстия и вала включает следующие операции и переходы: шлифование площадки, охватывающей отверстие; точение скругления профиля сопряжения; упрочнение этого профиля алмазным выглаживанием.

Шлифование площадки выполняется на плоскошлифовальном станке. Формируемая площадка не приводит к выходу диаметального размера за допустимое значение.

С помощью спроектированного приспособления, установленного в шпинделе сверлильного станка, резцом, закрепленным в оправке, и перемещаемой по копиру получают скругленный профиль. После замены резца на алмазный выглаживатель выполняют упрочнение проточенной поверхности.

Устройство позволяет выполнять обработку, как на универсальных сверлильных станках, так и на станках с ЧПУ и рассчитано на упрочнение отверстий различного диаметра.

# **ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТИТАНОВЫХ ОБРАЗЦОВ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ПОЛИМЕРНО- АБРАЗИВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ**

Ю. Н. Внуков, д.т.н., проф., Д. Н. Степанов, асп.  
Запорожский национальный технический университет,  
Запорожье

Шероховатость поверхности является одним из важнейших показателей качества деталей машин, которое имеет значительное влияние на их эксплуатационные свойства. Геометрические параметры поверхностного слоя являются технологическими концентраторами напряжений и определяются преимущественно видом завершающей обработки.

Целью данного исследования являлось определение влияния режимов обработки и параметров полимерно-абразивного инструмента (ПАИ) на шероховатость поверхности образцов из титанового сплава ВТ8-М.

ПАИ является одним из перспективных видов эластичных инструментов вращательного действия для финишной обработки сложнопрофильных и тонкостенных деталей из различных материалов. Он представляет собой набор ворсинок из нейлона с внедренным абразивом.

Для проведения исследований были изготовлены прямоугольные образцы размером 74×32×8 мм из сплава ВТ8-М, которые дают возможность удобной и быстрой установки в приспособлениях для проведения обработки и контрольных измерений, а также производить на одной стороне образца несколько серий однофакторных экспериментов. Исходная шероховатость образцов составляла  $Ra = 3,0 \dots 3,8$  мкм (6 класс). Обработку проводили на плоскошлифовальном станке ОШ-183.

При проведении исследований особое внимание уделяли не только полученному параметру шероховатости  $Ra$  и производительности обработки, а также соблюдению температурного режима обработки, т.к. при температурах выше 80-120 °С в рабочей зоне полиамидная основа волокон теряет свои свойства и начинает налипать на обрабатываемую поверхность.

При проверке влияния материала абразивного зерна на шероховатость было установлено, что при любых вариациях режимов резания инструменты с абразивными зёрнами из электрокорунда нормального 14А показывают на 20% худший результат по значениям параметра шероховатости, чем ПАИ с материалом абразивных зёрен из карбида кремния 63С.

Изменяли режимы обработки в следующих интервалах: продольная подача  $S=1\ldots6$  мм/об; скорость резания  $V=2\ldots35$  м/с; натяг  $i=1\ldots5$  мм; количество двойных ходов  $n=1\ldots20$  дв.х. и параметры инструмента, такие как диаметр волокон  $d_6=0,6$  и 1 мм; зернистость абразива F90 и F280; вылет волокон  $L=4\ldots31$  мм. Обработку проводили без СОЖ и с СОЖ (Аминил 2%).

Проведенными исследованиями установлены рациональные для наиболее производительной отделочной обработки образцов из жаропрочного титанового сплава ВТ8-М параметры инструмента: тип инструмента – дисковый ПАИ диаметром 75 мм; вылет полимерно-абразивного волокна 12 мм; диаметр волокна 1 мм; материал абразивного зерна карбид кремния 63С; зернистость F90 и режимы обработки: подача 0,5...1,0 м/мин; скорость резания 4...5 м/с; натяг 1,5 мм; поперечная подача 0,4...0,5 мм/ход; СОЖ – Аминил 2%. Обеспечивается шероховатость 8-го класса.

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗОВ**

Н. В. Водолазская, к.т.н., доц., Е. А. Мазниченко, магистрант  
Донецкий национальный технический университет,  
Донецк

Большинство видов промышленной деятельности сопряжено с созданием запасов продукции, их хранением и размещением. Склады являются одним из основных элементов производственной системы, которые необходимы для выполнения подобных операций. Наиболее трудоемким являются погрузо-разгрузочные работы штучных грузов, которые приходят на погрузо-разгрузочный терминал в деревянных коробках или на паллетах и отправляются на склад для кратковременного хранения. Одним из способов повышения эффективности, с точки зрения использования площадей, является выбор оптимального оборудования перемещения запасов, которое позволит увеличить полезную площадь склада и увеличить производительность погрузо-разгрузочных работ. Наиболее распространенными механическими средствами перемещения запасов являются вилочные погрузчики и мостовые краны, применение которых выгодно для определенных условий. Выбор техники используемой на складе, зависит от грузооборота, габаритов помещения, высоты склада, характера груза и необходимого уровня механизации.

При выборе подъемно-транспортных машин и механизмов для погрузо-разгрузочных работ необходимо учитывать предъявляемые к ним технико-эксплуатационные требования, а именно:

- машины и механизмы должны обладать эксплуатационной надежностью в работе, иметь



необходимую прочность и устойчивость, высокий КПД, быть безопасными при обслуживании и иметь собственный вес, соответствующий особенностям конструкции склада;

- производительная мощность машин и механизмов должна соответствовать условиям работ и пропускной способности склада;

- грузоподъемность оборудования должна превышать максимальную массу перерабатываемого груза на складе;

- виды и размеры рабочих органов, а так же характеристики самого оборудования должны выбираться исходя из особенностей перерабатываемого груза;

- при выборе машин необходимо исходить из энергетических возможностей склада, экономической целесообразности, технологической необходимости и экономических требований.

Анализ применения мостового крана и вилочного погрузчика для перемещения грузов показал, что применение мостового крана :

- повышает часовую производительность на 10%;
- позволяет увеличить полезная площадь склада в 2,87 %;
- приводит к увеличению полезного объема склада в 3 раза;

Расчет динамических колебаний моста и каната мостового крана при применении обычного и специального грузозахватного устройства показал, что:

- максимальные нагрузки при применении специального вилочного захвата в канате равны 21,6 кН, что не превышает предельных значений 32,8 кН;
- максимальные нагрузки при применении специального вилочного захвата в мосту равны 54,8 кН, что не превышает предельных значений 55,2 кН.

## **ПРОБЛЕМА ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ**

Н. В. Водолазская, к.т.н., доц., Д. А. Шевченко, магистрант  
Донецкий национальный технический университет,  
Донецк

На ряде машиностроительных и большинстве металлургических предприятий Украины многие машины и аппараты приходится эксплуатировать в агрессивных средах. Данные производственные условия воздействуют на металлические конструкции и механическую часть машин, способствуя старению и быстрому выходу из строя их самых уязвимых узлов. Замена и ремонт таких узлов часто требует значительных затрат материальных средств и времени и, как следствие, влечет за собой остановку производственного процесса с соответствующими убытками для предприятия. Таким образом, существует проблема повышения долговечности, для решения которой необходимо, прежде всего, разработать мероприятия по эксплуатации деталей машин.

В условиях действия агрессивной среды материалы, из которых изготовлены детали машин, подвержены коррозии и в меньшей степени эрозии. Рассмотрим газовую коррозию, т. к. она является наиболее распространенной на металлургических предприятиях. Газовая коррозия возникает, главным образом, при высоких температурах и чаще всего есть результатом окисления металлов кислородом. Кроме кислорода сильное разрушающее действие на металл при высоких температурах оказывают: двуокись серы, сероводород, хлористый водород, хлор, водород и другие газы.

Оценка стойкости приведена для реальных условий

пиromеталлургических процессов обжига, плавки, конвертирования, рафинирования, дистилляции, протекающих в плавильных цехах. Эта оценка учитывает воздействие следующих газов:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_2$  при температуре окружающей среды  $t=20^\circ\text{C}$ . Анализ показал, что из металлов наиболее стойкими являются кремнистые чугуны, а из полимеров – полиметилметакрилат, фторопласт-4 и асбовинил.

Но при этом анализе не учитывалось влияние нагрузок на детали, а это является немаловажным фактором, влияющим на долговечность. Исследования статистических данных показали, что влияние среды на физико-механические свойства материалов особенно усиливается в процессе деформации. Установлено, что концентраторы напряжений и чистота поверхности деталей снижают выносливость металла в агрессивных средах меньше, чем в воздухе. Поэтому детали, подверженные действию циклических нагрузок и агрессивной среды, можно обрабатывать более грубо, чем детали, работающие в воздухе, без снижения их выносливости.

Следовательно, для увеличения срока службы деталей и узлов машин, эксплуатируемых на пиromеталлургических предприятиях, необходимо:

1. Рационально выбрать материал основных деталей и узлов машины. При выборе следует учитывать состав производственной среды и условия эксплуатации.

2. Правильно подобрать способ обработки детали, т. е. представления о прочности и выносливости материалов, разработанные для общего машиностроения, не всегда оказываются пригодными для данных условий.

3. Выбрать смазочный материал, лакокрасочные средства и другие покрытия, защищающие детали от вредных воздействий.

## **МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОБРОБЛЮВАНOSTІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ «НЕРУЙНІВНИМИ» МЕТОДАМИ**

О. В. Волошко, асп., С. П. Вислоух, к.т.н., доц.  
Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”, Київ

Оброблюваність різанням є складною характеристикою конструкційного матеріалу, фізичний зміст якої часто розуміють по різному в залежності від конкретних вимог, що пред'являються до обробки.

Великий обсяг дослідних робіт з вивчення оброблюваності матеріалів пов'язаний з безперервною появою та використанням як нових конструкційних матеріалів у всіх областях техніки, так і нових інструментальних матеріалів, розробкою і вдосконаленням конструкцій різального інструмента, а також методів обробки. Основною метою вивчення оброблюваності матеріалів різанням в даний час є встановлення оптимальних умов їх обробки. Відомо, що оброблюваність матеріалу в основному визначається його хімічним складом, фізико-механічними властивостями та структурою. Пропонується визначати оброблюваність конструкційного матеріалу не шляхом проведення експериментальних досліджень, що пов'язані з його деформуванням, наприклад різанням, а математичною обробкою інформації про склад та властивості досліджуваного матеріалу, тобто неруйнівними методами. Спочатку всі конструкційні, а також інструментальні матеріали поділяються на окремі класифікаційні групи (підгрупи) за сукупністю інформації про їх структуру, хімічний склад та фізико-механічні властивості. За основу такого поділу можна взяти наявну на сьогодні

класифікацію матеріалів. Але така класифікація є суб'єктивною, тому пропонується її виконати шляхом застосування методів кластерного аналізу, що дозволяють отримати науково обґрунтований поділ на окремі групи. Для кожної класифікаційної групи (підгрупи) матеріалів методами дискримінантного аналізу визначається класифікаційні функції, що дозволяють за сукупністю фізико-механічних характеристик та хімічним складом досліджуваного матеріалу однозначно та об'єктивно визначити групу, до якої він відноситься. Це дає можливість отримати, в якості першого наближення, рекомендовані режими обробки конструкційного матеріалу, що відповідають даній класифікаційній групі (підгрупі). Але кожний оброблюваний та інструментальний матеріал має свої властивості, що відрізняють його від іншого, навіть в межах однієї класифікаційної групи. Тому пропонується методами факторного аналізу виконати обробку інформаційних масивів, що містять характеристики оброблюваних та інструментальних матеріалів, з метою стиснення початкової інформації та отримання латентних (неіснуючих) змінних. Шляхом обробки отриманої інформації за спеціальним алгоритмом визначаються поправочні коефіцієнти на режими обробки конкретного матеріалу (швидкість різання та подачу), що враховують його особливості. Отримані коефіцієнти дозволяють також визначити відносну оброблюваність будь-яких конструкційних матеріалів, що входять в дану класифікаційну групу.

Використання запропонованої «неруйнівної» методики визначення оброблюваності конструкційних матеріалів дозволяє значно зменшити витрати на проведення експериментальних досліджень, заощадити час та кошти.

# **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ СТРУКТУР КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

А. В. Гарин, студ.

Сумский государственный университет, Сумы

Современный этап развития прикладных технологических наук требует увеличения объема знаний о микроструктурах материалов, как и соответствующий ему этап развития физики в свое время требовал углубления знаний о микромире. Знание о микроструктуре материала, строго формализованное и систематизированное, дает более глубокое понимание его свойств, а значит и более надежный контроль качества механической обработки. В данный момент формализованной и рациональной связи между микроструктурой и свойством материала не существует. Основные подходы к изучению этой проблемы заключаются в интуитивном и качественном анализе.

Целью данного исследования является поиск и математическая формализация связи между геометрической структурой материала и его физическими свойствами.

Предлагаемая концепция формализации структуры рассматривает замкнутую площадь материала как систему нагруженных площадей, ограниченных линией зерен. В момент покоя условные внутренние силы компенсируются по все площади контура, но вокруг центра его масс располагается квазинагруженная площадь, размер которой пропорционален площадям зерен. Эта площадь, в которой сосредоточен суммарный компенсируемый потенциал внутренних сил рассматриваемого контура. Путь, по которому силовой потенциал смещается к центру контура, проходит через центры масс зерен. Предлагаемая в этом

исследовании зависимость описывает связь между квазинагруженной площадью и длиной пути смещения силового потенциала. Расчет квазинагруженной площади  $S_1$  выполняется по формуле:

$$S_1 = S / n ,$$

где  $S$ - площадь рассматриваемого контура,  $n$ -число зерен.

Для простоты анализа исследуемую площадь представим в виде квадрата, с зернами такой же формы. Тогда его сторона  $a$  будет равна:

$$a = \sqrt{n \cdot S_0} ,$$

где  $S_0$ - элемент перехода от безразмерной к квадратной величине.

Тогда диагональ квадрата  $b$  будет равна:  $b = a\sqrt{2}$ .

Коэффициента перехода силового потенциала, который описывает зависимость между длиной диагонали и количеством зерен:  $k = b / n$ .

Тогда

$$s' = S_1 k = \frac{S}{n^2} \sqrt{n \cdot S_0} .$$

где  $s'$  это величина, описывает зависимость квазинагруженной площади и длины перехода силового потенциала. Таким образом, величина  $s$  характеризует геометрическую структуру материала. Однозначность этой связи обусловлена исключительностью сочетания размера квазинагруженной площади, количество зерен и пути перехода силового потенциала.

Практическое применение этой характеристики может быть реализовано следующим образом: изображение, полученное с помощью электронного микроскоп, будет обработано программой, содержащей алгоритма расчета величины  $s'$ , которая в свою очередь будет сопоставлена с систематизированными значениями физических свойств материала.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РАДИУСА ОКРУГЛЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ КОНЦЕВОЙ ФРЕЗЫ**

Л. В. Голобородько, магистрант, С. С. Некрасов, ассист.  
Сумский государственный университет, Сумы

Производственный опыт фрезерования пазов в отливках из стали 12Х18Н12М3ТЛ монолитными твердосплавными концевыми фрезами показал, что в процессе фрезерования наблюдается увеличение мощности резания и амплитуды колебаний. При этом не наблюдается интенсивного увеличения фаски износа по задней поверхности даже у фрез, которые разрушились в процессе работы. Поэтому можно предположить, что в процессе резания изменяется состояние режущей кромки, возрастают сила и мощность резания.

Для подтверждения этой гипотезы проведен эксперимент по фрезерованию стали 12Х18Н12М3ТЛ твердосплавными концевыми фрезами с начальным радиусом округления режущей кромки 4,3 мкм. В ходе проведения эксперимента производилось измерение радиуса режущей кромки с помощью электронного микроскопа.

Проведенное исследование позволило установить, что радиус округления режущей кромки концевой фрезы в процессе работы ступенчато увеличивается. С увеличением радиуса округления наблюдалось увеличение температуры в системе резания, что определялось по цветам побежалости стружки. При достижении температуры в системе резания некоторой критической величины, интенсифицируется процесс образования фаски износа по задней поверхности. Радиус округления режущей кромки при этом стабилизируется вблизи



значення 20 мкм. При цьому спостерігається подальший ріст температури в системі різання.

Таким чином, експериментально виявлена конкуренція процесів викрашування режущої кромки і її изнашивания. Перший процес сприяє збільшенню радіуса округлення режущої кромки, а другий – її зменшенню в результаті «самозатачування». Подальші дослідження дозволять визначити раціональний радіус округлення режущої кромки, забезпечуючий найбільший ресурс монолітних твердосплавних кінцевих фрез при фрезеруванні важкооброблюваних конструкційних матеріалів.

## **КВАЛІМЕТРИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СХЕМ СУПЕРФІНІШУВАННЯ ШИЙОК ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ**

А. В. Гонщик, В. О. Залого, д.т.н., проф.,  
Г. Г. Лагута, к.т.н., доц.  
Сумський державний університет, Суми

Відомо, що шліфування та полірування мають найбільшу питому вагу серед процесів фінішної обробки. Проте процес шліфування супроводжують високі температури в зоні різання, що призводить до структурних змін поверхневого шару, знижують його зносостійкість, а полірування не забезпечує показники якості геометричної форми обробленої поверхні і характеризується значною трудомісткістю.

Для усунення відмічених недоліків процесів шліфування і полірування застосовують фінішну обробку з використанням шліфувальних брусків, зокрема суперфінішування.

Здійснено комплексне оцінювання схем суперфінішування, які досліджені на кафедрі ТМВІ СумДУ, з метою вибору переважної схеми та її реалізації на верстаті для обробки шийок великогабаритних колінчастих валів.

Для цього застосовано ідею методу зворотного детермінованого факторного аналізу.

Субординація схем суперфінішування визначається через віддаленість точок, що відповідають кожній схемі суперфінішування, від точки схеми-еталону за формулою

$$\rho_i = \sqrt{k_1(1 - a_{i1})^2 + k_2(1 - a_{i2})^2 + \dots + k_n(1 - a_{in})^2}, \quad (1)$$

де  $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$  – координати  $i$ -ї схеми суперфінішування;  
 $k_1, k_2, \dots, k_n$  – коефіцієнти вагомості.

Робоча методика комплексного порівняльного оцінювання схем суперфінішування передбачає таку послідовність:

- планування імітаційного експерименту;
- імітаційний експеримент;
- побудова моделей вихідних показників;
- визначення масивів значень вихідних показників, що задовольняють обмеженням;
- порівняльне оцінювання схем суперфінішування за коефіцієнтом інтенсивності виправлення відхилення форми  $K_{\text{інт}}$ ;
- порівняльне оцінювання схем суперфінішування за лінійним зносом шліфувальних брусків  $U_6$ ;
- комплексне порівняльне оцінювання схем суперфінішування.

Для визначення переважного варіанту схем суперфінішування запропоновано використати загальновідому в дослідженні операцій формулу, де роль експертних оцінок відіграють відповідні значення критеріїв ефективності, а саме:

$$\rho = \frac{\rho_{min} + 4\rho_{0,22;0,78} + \rho_{max}}{6}, \quad (2)$$

де  $\rho_{min}$  – мінімальне значення критерію ефективності варіанта схеми суперфінішування;  $\rho_{0,22;0,78}$  – компромісне значення критерію ефективності варіанта схеми суперфінішування;  $\rho_{max}$  – максимальне значення критерію ефективності варіанта схеми суперфінішування.

Отримано, що переважною схемою суперфінішування є циклічна схема. Якщо розглядати циклічну схему як вироджений варіант ударно-циклічної схеми, то на верстаті для суперфінішування шийок великогабаритних колінчастих валів доцільно реалізувати саме ударно-циклічну схему суперфінішування.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЗАГОТОВКИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ДЕФОРМИРУЮЩЕМ ПРОТЯГИВАНИИ**

А. В. Грушко, к.т.н., доц.<sup>1</sup>, И. Ю. Росточкий м.н.с.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Винницкий национальный технический университет,  
Винница

<sup>2</sup>Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля  
НАН Украины, Киев

В исследованиях механики деформирующего протягивания всесторонне был изучен процесс упрочнения поверхностного слоя. Для его изучения были проведены экспериментальные и экспериментально-расчетные методы теории пластичности: метод твердости, визиопластичности, метод линий скольжения. Показано, что интенсивность накопленных деформаций определяется

углом инструмента и натягом на сторону. При этом авторы отмечают слабое влияние остальных параметров технологического процесса.

Однако предварительное исследование процесса методом конечных элементов (МКЭ) показало большее влияние и остальных технологических параметров на деформационное упрочнение поверхностного слоя, особенно при малых натягах. МКЭ в сравнении с ранее перечисленными методами МКЭ имеет наибольшую точность и информативность. Однако, как и большинство методов имеет свои причины возникновения погрешностей, при его использовании.

Таким образом, в модели, полученной по МКЭ, хотя и будет присутствовать погрешность, однако можно будет определить как факторы и их сочетания влияют на особенности упрочнения поверхностного слоя.

Целью исследований является изучение зависимости упрочнения поверхностного слоя от основных технологических параметров и свойств материала при малых натягах в процессе моделирования деформирующего протягивания МКЭ.

Решали поставленную задачу с использованием конечноэлементного моделирования явным методом. Использовали осесимметричную постановку задачи. Применяли модель трения по Кулону с ограничением контактных касательных напряжений напряжением текучести при сдвиге. Свойства материала задавали в виде упругих констант изотропного материала и кривой течения.

Опираясь на опыт по проектированию технологического процесса протягивания, и перспективы его применения, приведены ориентировочно предельные значения рассматриваемых величин.

В результате планирования эксперимента было установлено влияние технологических параметров процесса деформирующего протягивания на параметры упрочнения. Разработаны технологические рекомендации по определению степени упрочнения при обработке деформирующим инструментом. Впервые предложена методика определения связи параметров упрочнения с технологическими параметрами по характерным точкам. Глубина деформированного слоя и максимальное упрочнение, согласно расчетам по МКЭ не превышает 14%, что позволяет достаточно точно спрогнозировать результаты обработки деформирующим протягиванием, при проектировании технологических процессов.

## **ЗАВИСИМОСТЬ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА ОТ ПРОЧНОСТИ СВЯЗУЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ УПРАВЛЯЮЩЕМ ВОЗДЕЙСТВИИ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ**

В. В. Гусев, д.т.н., проф., А. Л. Медведев  
Донецкий национальный технический университет,  
Донецк

Одним из способов управления рабочей поверхностью шлифовального круга при обработке материалов, для обеспечения качества поверхностного слоя изделий, является правка свободным абразивом, которая разрабатывается на кафедре Металлорежущие станки и инструменты ДонНТУ.

Одним из комплексных показателей характеристики рабочей поверхности круга (РПК) является режущая способность.

Целью исследования являлось определение влияния прочности абразивного бруска на максимально достижимый уровень режущей способности шлифовального круга.

Для исследования использовался алмазный круг 1A1 250/200 M2-01, бруски из карбида кремния зеленого по ряду F54, связующим веществом выступали эпоксидная смола, цемент и гипс, бруски, изготовленные из шлифовального круга ПП 400х32х40 КЗ Т1 64С 32П.

Так бруски из шлифовального круга имели прочность на сжатие  $\sigma_{сж} \approx 80$  МПа, бруски со связующим из эпоксидной смолы –  $\sigma_{сж} \approx 50$  МПа, из цемента –  $\sigma_{сж} \approx 3,2$  МПа, из гипса –  $\sigma_{сж} \approx 1,5$  МПа.

Объем подаваемого абразива оставался постоянным за счет варьирования скорости его подачи в зону правки. Режущая способность шлифовального круга измерялась по упругой схеме на образцах из ситалла АС-370.

Из полученных экспериментальных результатов можно сделать следующие заключения: время достижения предельной режущей способности при правке способом свободного абразива зависит от прочности абразивного бруска, участвующего в правке, чем выше прочность, тем больше требуется времени для достижения предельного уровня режущей способности. Так прочность гипсового бруска в 2 раза ниже прочности бруска из цемента, время достижения предельной режущей способности для бруска из гипса составляет 500-540 с, для бруска из цемента 600-640 с. Скорость изменения режущей способности также незначительно отличается.

При увеличении прочности бруска предельная режущая способность круга снижается по экспоненциальной кривой. Так для брусков с прочностью до 10 МПа предельная режущая способность варьируется в пределах 2,5 – 3,5 см<sup>3</sup>/с. При правке брусками с прочностью 50 МПа – не превышает 1 см<sup>3</sup>/с.

Разновысотность РПК более развита при управляющих воздействиях на связке с меньшим значением прочности на сжатие. При правке кругов со связующим близким по прочности к прочности шлифовального круга разновысотность практически не меняется, что в свою очередь не приводит к изменению режущей способности.

Таким образом, прочностные характеристики связующего абразивного бруска непосредственным образом влияют на скорость изменения режущей способности, предельно достижимый уровень режущей способности шлифовального круга, развитость РПК. Для достижения максимальной режущей способности с минимальными затратами времени необходимо стремиться к минимизации прочностных характеристик связующего. Наилучший эффект был получен при прочности связующего до 10 МПа.

## **ДО ПИТАНЬ РОЗРОБКИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ**

М. О. Демченко, О. В. Філіппов, к.т.н., ст. викл.,  
М. В. Філіппова

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний університет», Київ

В даний час скорочення термінів та покращення якості проектування технологічних процесів може бути досягнуте шляхом розробки автоматизованих систем проектування, які базуються на використанні математичної моделі процесу проектування.

Технологічні процеси характеризуються великою кількістю елементів, складними та різноманітними

зв'язками між ними. Традиційні методи аналізу таких об'єктів не дозволяють побудувати моделі та описати такі важливі їх характеристики, як функція, багаторівнева організація та структура загальних властивостей складних об'єктів та процесів. У зв'язку з цим великого значення набуває розробка математичних моделей, що базуються на системному підході до об'єктів проектування та технологічних процесів.

Досягнутий рівень розробки автоматизованих систем технологічного процесу дозволяє поставити питання дослідження сутності та можливості створення штучного інтелекту при технологічному проектуванні з метою подальшого підвищення продуктивності та якості проектних робіт, і на кінець, технологічних процесів. Під штучним інтелектом розуміється система, що володіє хоча б двома властивостями:

а) здатність до накопичення і корегування знань на основі активного сприйняття технологічної інформації, в тому числі узагальненого досвіду технологічного проектування та результатів технологічних досліджень;

б) здатність цілеспрямованої поведінки на основі накопиченого знання.

Основу штучного інтелекту складає специфічний комплекс програм, які являються спеціальним математичним забезпеченням автоматизованої системи технологічного проектування принципово нового рівня. Його можна розглядати в двох аспектах: функціональному та інтелектуальному. Функціонально штучний інтелект представляється як ієрархічна сукупність математичних моделей, адекватних відповідним природним процесам проектування. На будь-якому рівні проектування ієрархії моделей, що утворені структурно-процесуальними зв'язками, в яких кожна модель відображає відповідну функцію, що являється елементом моделі більш високого



рівня ієрархії. На визначеному рівні моделі представляють собою інформаційні структури рішень досить узагальнених технологічних задач. Функціональні розширення штучного інтелекту пов'язане з введенням в банк проєктор-технологічних моделей повторно розроблених модулів. Інтелектуальний підхід виділяє типи моделей і їх елементів за процесуальним призначенням. В процесі конкретного випадку проєктування вибирається необхідний склад проєктно-технологічних моделей, безпосередньо приймаючих участь в розв'язанні даної задачі.

Методи традиційного проєктування мають малу ієрархічність, тому структура процесів проєктування суб'єктивна. Для моделювання необхідна формалізація процесів максимально пізнаною ієрархією, що дозволяє при дослідженні елементарних рівнів процесів виявляти невизначеності, вирішувати їх і тим самим якісно вдосконалювати процес проєктування.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВ'ЯЗКІВ МІКРОГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДОРІЖОК КОЧЕННЯ З ПАРАМЕТРАМИ ВІБРАЦІЙ В РОЛИКОПІДШИПНИКАХ**

В. Ю. Денисюк, к.т.н., доц.

Луцький національний технічний університет, Луцьк

Радіальне та осьове навантаження визначає умови контактування тіл кочення з кільцями підшипників і може бути причиною виникнення вібрацій навіть при мінімальних похибках виготовлення деталей підшипників. У реальному підшипнику ступінь впливу навантажень на формування спектру вібрацій залежить від кількості тіл

кочення, що знаходиться в контактi. Цей вплив є суттєвим у випадку сприйняття навантаження 30-40 % загальної кількості тіл кочення в комплекті і менш суттєвим – при навантаженні 70-80 %. У радіально-упорних роликових підшипниках зменшення кількості ненавантажених тіл кочення, а відповідно і рівня вібрацій, досягається шляхом збільшення осевого навантаження на підшипник. При повному забезпеченні контакту тіл кочення з кільцями подальше збільшення осевого навантаження не приводить до зменшення рівня вібрацій.

Із збільшенням частоти обертання здійснюється зсув частотних складових спектру вібрацій у високочастотну область. При цьому зміна рівня вібрацій залежить від наближеності частот збурюючих зусиль до власних частот, тобто можливості виникнення резонансів.

Як правило ці вібрації проявляються в високочастотному діапазоні, близько до власних частот підшипника. Для зменшення впливу вібрацій такого типу слід на всіх періодах життєвого циклу деталей підшипників впровадити такі науково обґрунтовані методи і режими механічної, термічної, викінчувальної алмазно-абразивної обробки, які забезпечували б можливість отримувати певну мікроструктуру рельєфу поверхні з мікровиступами малої висоти при достатньо глибоких мікровпадинах для утримання мастила, а також з певними параметрами хвилястості робочих поверхонь.

Одним із технологічних заходів, що зменшує вплив вібрацій цього типу, є попередня прикатка підшипників. В процесі тривалої технологічної прикатки з технологічними мастилами при підвищених навантаженнях здійснюється зминання вершин мікровиступів шорсткої поверхні, окислення і стабілізація поверхневих шарів контактуючих деталей. Для уникнення насипного забруднення робочого

мастила, після прикатки підшипники розбирають і ретельно промивають.

Локальні дефекти на поверхнях кочення – тріщини, вм'ятини, сколи, практично не змінюють загальний рівень його вібрацій. Але на відміну від вібраційного сигналу справного підшипника у спектрі вібрацій дефектного підшипника з'являються окремі складові збурення, частота яких залежить від частоти обертання підшипника, а амплітуда – від розміру пошкодження. Зростання розмірів дефектів на кільцях підшипника супроводжується збільшенням кількості помітних складових спектру вібрації за рахунок модуляції початкових вібраційних збурень із частотою обертання підшипника.

Крім того, факт зміни початкових вібраційних характеристик підшипників після їх монтажу свідчить про необхідність комплексного підходу до вивчення механізму впливу фізичних та технологічних процесів на формування вихідної точності підшипникових вузлів і роторних систем на опорах кочення.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЗАЦІЇ ПРИ АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ КРУГАМИ З НТМ ІЗ ВКЛЮЧЕННЯМИ ТА ПОКРИТТЯМ**

О. А. Дєвицький, асп.

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля  
НАН України, Київ

Вивчення електричних явищ в процесах механічної обробки є новим та перспективним напрямком. Слід сказати, що при обробці металів інструмент, деталь та шлам, що знімається з неї, нагріваються. Внаслідок нагріву і різномірності матеріалу інструмента і оброблюваного

матеріалу в зоні контакту інструмента зі стружкою та деталлю виникають термоелектрорушійні сили (термоЕРС). Тим самим, ми маємо певні електричні явища, які можуть бути позитивно використані у двох напрямках: по-перше, для контролю або діагностики процесу шліфування і, по-друге, для додаткового впливу на процес через термоЕРС.

Метою даної роботи було поставлено задачу вивчити електричні явища при абразивній обробці кругами з включенням домішок в робочому шарі та металізованим покриттям різальних зерен.

Для досягнення цілей було проведено шліфування зразків твердого сплаву Т15К6 кругом форми 12А2-45° типорозміру 125х5х3х32 і характеристиками робочого шару АС6 125/100-В2-08-100%, а також кругами тої ж форми та типорозміру з комбінованим вмістом в абразивному шарі алмазного порошку зернистості 125/100 та кубонітового порошку різноманітної зернистості (з та без металізованого покриття зерен) на верстаті 3В642 при продуктивності обробки  $Q=500\text{мм}^3/\text{хв}$ . У процесі дослідження, за допомогою вимірювача параметрів електростатичного поля ИПЭП-1 виробництва Республіки Білорусь, була виміряна напруженість шламу після шліфування. Результати дослідження показали, що найбільша залишкова напруженість шламу спостерігається після обробки кругами з більшою концентрацією алмазних зерен, дану тенденцію також було виявлено в більш ранніх роботах. Крім того, на більшу величину залишкової напруженості впливає наявність металізованого покриття кубонітових зерен.

Далі в ході роботи проведено шліфування зразків твердого сплаву Т15К6 алмазними кругами форми 12А2-45° типорозмірів 125х5х3х32 з вмістом в абразивному шарі алмазного порошку АС6 зернистості 125/100 і додаванням,

в якості домішок абразивного шару, кварцового піску ( $\text{SiO}_2$ ), дістену ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ ), ільменіту ( $\text{TiO}_2$ ) або рутилу ( $\text{TiO}_2$ ). З результатів досліджень випливає, що найбільша величина залишкової напруженості шламу спостерігається після обробки кругами з домішками дістену в абразивному шарі, найменша – з домішками рутилу. Це варто пов'язати з високими діелектричними показниками рутилу. Подібні результати свого часу показали й кубонітові круги зі склопокриттям зерен, яке містить модифікаційні домішки рутилу.

Було визначено залежність напруженості шламу від характеристик НТМ та виду домішок в абразивному шарі круга при діапазоні продуктивності обробки  $Q=100\dots500\text{мм}^3/\text{хв}$ . Згідно з результатами, більший продуктивності абразивного процесу відповідає більша абсолютна величина залишкової напруженості шламу. До того ж, проаналізувавши результати досліджень, можна казати про те, що найменша залишкова напруженість спостерігається після обробки кругами з домішками рутилу в абразивному шарі.

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ**

А. Н. Диордица, магистрант, И. Н. Диордица, ассист.,  
С. П. Выслоух, к.т.н., доц.

Национальный технический университет Украины  
"Киевский политехнический институт", Киев

Непрерывно возрастающие требования к точности и качеству обработки деталей выдвигает перед исследователями процесса резания все новые и сложные

задачи. Успешное их решение во многом зависит от понимания физической сущности явлений, сопровождающих этот процесс. Познание физической сущности процесса резания имеет большое значение, так как оно дает возможность управлять этим процессом, обеспечивая максимально возможную производительность обработки деталей и необходимое их качество в заранее заданных условиях. Проблема точности и качества процесса механической обработки, его динамическая устойчивость и влияющая на это динамика металлорежущих станков является предметом исследований многих отечественных и зарубежных исследователей и есть актуальной для исследования.

Функциональное назначение отдельных деталей, а также стремление снизить материалоемкость приборов и машин обусловили необходимость применения класса так называемых нежестких деталей высокой точности, отличающихся непропорциональностью габаритных размеров, малой жесткостью в определенных сечениях и направлениях. Кроме того, высокие требования предъявляются к параметрам точности геометрических форм и взаимного расположения поверхностей, линейных размеров и качеству поверхности нежестких деталей.

Проблемная ситуация заключается в поиске научно-технических решений управления технологическим процессом с целью обеспечения требуемой точности и предотвращения влияний возмущающих воздействий на объект управления при обработке деталей в реальном времени на оборудовании с числовым программным управлением (ЧПУ). В связи с этим представляется актуальной и перспективной задача создания автоматизированной системы управления технологическим процессом.

Поэтому поставлена задача получения математических моделей компонентов технологического процесса обработки деталей и построении на их основе автоматизированной системы контроля и управления процессом механообработки. Кроме того, для решения этой задачи необходимо создание алгоритмов управления технологическим процессом, которые позволяют обеспечить требуемую точность обработки нежестких деталей на оборудовании с ЧПУ.

Полученные математические зависимости, алгоритмы управления и рекомендации по созданию системы управления и контроля дают возможность разработать автоматизированную систему управления точностью механической обработки деталей.

Областью возможного использования системы является автоматизация и управление технологическими процессами и производствами. Эта автоматизированная система может применяться в машино- и приборостроении для обеспечения высокой точности обработки деталей любой сложности и конфигурации при использовании оборудования с ЧПУ.

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБОБЩЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАМКНУТОЙ Т-СИСТЕМЫ КРУГЛОГО ВРЕЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ**

В. Г. Евтухов, к.т.н., доц., П. В. Кушников, к.т.н., доц.,  
А. В. Евтухов, к.т.н., ст. преп., К. С. Кисиленко  
Сумский государственный университет, Сумы

Одним из основных недостатков существующих методик нормирования рабочего цикла круглого врезного шлифования (КВШ) является сложность и

неоднозначность определения податливости технологической системы (Т-системы). При этом величина фактического съема металла, длительность отдельных этапов и рабочего цикла шлифования в целом, эффективность шлифования определяются в основном податливостью (жесткостью) Т-системы а также режущей способностью круга. Предложено указанные параметры Т-системы КВШ характеризовать единым числовым показателем (обобщенной характеристикой)

$$q = \frac{C_{\delta}}{j_{\bar{n}} + C_{\delta}},$$

где  $C_p$  – «жесткость» процесса шлифования (коэффициент пропорциональности из линеаризованной зависимости нормальной составляющей силы резания от фактического съема метала  $P_y = C_p \cdot x$ );  $j_c$  – приведенная жесткость Т-системы.

Анализ расчетных зависимостей фактического съема металла (глубины шлифования), аргументом которых является обобщенная характеристика  $q$  показал: чем больше жесткость Т-системы  $j_c$  и чем меньше значение коэффициента  $C_p$ , характеризующего режущую способность шлифовального круга, тем производительнее процесс шлифования и тем большая эффективность устранения исходной погрешности формы обрабатываемой поверхности.

Рассмотрена возможность идентификации указанной обобщенной характеристики  $q$  для условий круглого врезного шлифования. Выявлена трансцендентная зависимость

$$\frac{1 - q^n}{1 - q} = (n - 1) - \frac{h}{S_o},$$

где  $n$  – количество оборотов заготовки с момента начала этапа врезания;  $h$  – суммарный съем металла (припуск)



знятий за  $n$  оборотів заготовки;  $S_o$  – номінальне значення врезної подачі.

Експериментальне визначення аргументів вказаної залежності для відповідної Т-системи дозволяє взяти властивості конкретної системи найбільш повно і значущо підвищує точність розрахунку робочого циклу при технічному нормуванні круглошліфовальних операцій.

Розрахунок робочого циклу КВШ з урахуванням пропонованої характеристики найбільш ефективний при використанні обладнання з пристроєм ЧПУ високої організації, т.к. така система дозволяє визначити аргументи трансцендентного рівняння і розрахувати показник  $q$  безпосередньо в процесі обробки, на основі показань датчиків касання, системи активного контролю і т.д.

## **РОЗШИРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ КОМБІНОВАНОГО ПРОТЯГУВАННЯ ОТВОРІВ В ДЕТАЛЯХ З МАЛОПЛАСТИЧНИХ МЕТАЛІВ**

П. М. Єрьомін, асп., О. В. Чернявський, к.т.н., доц.,

А. І. Гречка, к.т.н., доц.

Кіровоградський національний технічний університет,  
Кіровоград

Незважаючи на значну кількість нових конструкційних матеріалів з різними фізико-механічними властивостями сірій чавун продовжує займати провідне місце в верстат- та автомобілебудуванні завдяки своїм високим антифрикційним властивостям та ряду інших переваг. Одним із способів обробки отворів в чавунних

деталях є комбіноване протягування, до переваг якого відносяться високі продуктивність праці та точність розмірів, якість обробленої поверхні, стійкість інструмента, простота налагодження верстатів і виконання процесу.

Проте можливості використання комбінованого протягування не реалізовані в повній мірі. Огляд сучасних конструкцій комбінованих протяжок показав такі недоліки:

- складність вільного розташування стружки в обмеженому просторі між зубцями протяжки;
- недостатнє використання ресурсу роботи комбінованої протяжки при її зворотному русі;

Метою роботи є розширення технологічних можливостей обробки круглих отворів в деталях із малопластичних металів комбінованим протягуванням з подвійним робочим рухом інструмента.

Авторами запропоновано нову конструкцію протяжки, яка дозволяє покращити подрібнення стружки та забезпечити процес різання, як при прямому так і зворотному рухах інструмента.

Протяжка має деформуючі елементи з розташованими на них стружкоподільчими канавками і два різальні зубці, один з яких зорієнтований за напрямком прямого руху, а другий – зворотного.

При прямому переміщенні протяжки, деформуючі елементи попередньо деформують поверхневий шар деталі, що позитивно впливає на процес примусового формоутворення стружки, а перший різальний зубець зрізує припуск заданої товщини. Другий різальний зубець схований в зоні хвилі позаконтактної деформації, що виникає за деформуючим елементом, і не контактує з поверхнею, яка обробляється. Також другий деформуючий елемент додатково деформує поверхневий шар деталі і виконує роль задньої напрямної протяжки.

При зворотному переміщенні, після виходу деформуючого елемента із зони обробки, хвиля позаконтактної деформації зникає, відбувається пружне відновлення деталі і другий різальний зубець зрізує припуск заданої товщини, попередньо zdeформованого шару деформуючими елементами.

Знання параметрів хвилі позаконтактної деформації та її розрахунки необхідні для оптимізації процесу комбінованого протягування та встановлення граничних умов забезпечення процесу різання при зворотному русі інструмента. Граничними умовами забезпечення процесу різання будуть максимально та мінімально допустимі діаметри різального зубця. Максимальний діаметр зубця обмежується висотою хвилі позаконтактної деформації, яка дозволяє „сховати” зубець при прямому русі інструмента, мінімальний діаметр обмежується діаметром отвору після проходу останнього деформуючого елемента.

## **ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБЛЕННЯ КІЛЕЦЬ ПІДШИПНИКІВ НА ТОКАРНОМУ АВТОМАТІ МОДЕЛІ 1Б265П-6К**

В. Ю. Заблоцький, к.т.н., доц.

Луцький національний технічний університет, Луцьк

Відома технологія отримання заготовки зовнішнього та внутрішнього кілець підшипників різними штампами з різним інструментом та окремо одна від одної. Заготовка зовнішнього кільця отримується штампуванням окремо від внутрішньої, аналогічно заготовка внутрішнього кільця окремо від зовнішнього. Недоліком такого методу отримання заготовок є те, що трудомісткість отримання заготовок досить висока, коефіцієнт

використання матеріалу 0,3 кг на одній парі кілець. Для виготовлення заготовок відомим методом необхідно використовувати два штампа та різні матриці, а це також спричиняє труднощі на складальних операціях, оскільки з'являється геометрична невідповідність зовнішнього та внутрішнього кілець. Технологічний процес виготовлення кілець підшипників з окремих заготовок є досить трудомістким та складним, що негативно відображається на якості підшипників.

Поставлена задача досягається за рахунок того, що у відомій технології виготовлення заготовок кілець підшипників дві заготовки з яких виготовлялись зовнішнє та внутрішнє кільця були замінені однією. Позитивним фактором є те, що після зміни технологічного процесу виготовлення заготовок вдалось досягти значного покращення таких показників, як: коефіцієнт використання матеріалу (від 0,3 до 0,1 кг на одній парі кілець); трудомісткість виготовлення заготовок; зменшення кількості штампового інструмента (використання одного штампу замість двох) на автоматичній лінії Л-309.

Прийняте технічне рішення дозволило скоротити вдвічі трудомісткість заготівельних операцій а також на 40% скоротити трудомісткість токарно-автоматної операції з відповідним економічним ефектом.

Аналіз процесу формоутворення кілець за новим запропонованим варіантом дає підстави стверджувати, що запропонований спосіб має ряд переваг технологічного і техніко-економічного характеру. По-перше, значно покращилась схема базування заготовки під час формоутворення на токарно-автоматній операції. Завдяки цьому вдалось уникнути залишкових деформацій у вигляді відхилення форми кілець після затискування в патронах верстату. По-друге, з'явилась можливість підвищити точність формоутворення комплекту кілець за рахунок

одночасної оброблення і суміщення осей обертання внутрішнього і зовнішнього кілець. Завдяки запропонованому рішення за наближеними розрахунками технологічна продуктивність формоутворення зросла майже вдвічі, собівартість формоутворюючих токарних операцій зменшилась на 25%.

Отже, використовуючи нову методику оброблення кілець підшипників на токарному автоматі якість оброблення робочих поверхонь значно покращується за рахунок використання однієї заготовки, що дозволяє уникнути ряду похибок форми деталі. Змінивши технологічний процес виготовлення кілець підшипника з'явилась можливість економії робочого часу в зв'язку із зникненням операції чистового точіння, що дає досить високий економічний ефект.

## **СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ФРЕЗЕРНОЇ ОБРОБКИ НА БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ**

С. С. Заєць, асист., В. В. Шевченко, к.т.н., доц.  
Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”, Київ

Якість приладів є важливим елементом в виробничому процесі. Складність сучасної техніки і масштаби виробництва потребують значних витрат матеріальних та трудових ресурсів. Тому значну увагу на виробництві приділяють надійності роботи обладнання і дотриманню вимог технологічного процесу обробки.

Надійність любых технічних засобів є одною з основних їх властивостей, по якій іде оцінювання доцільності використання в виробництві. Надійність (по

ГОСТ 27.002-83) – це властивість об'єкту зберігати в часі у встановлених межах значення своїх параметрів, що в свою чергу характеризує здатність виконувати необхідні функції в заданих умовах застосування, технічного обслуговування, ремонту, зберігання й транспортування.

Існують два взаємодоповнюючих підходи забезпечення надійності процесу обробки: 1-поліпшення експлуатаційних характеристик технологічного встаткування (елементи верстата й пристосування, конструкція різального інструмента й фізико-механічні властивості різальної пластини); 2 - використання системи моніторингу процесу обробки, що оперативно надає інформацію про поточні значення контрольованих параметрів від датчиків, розміщених на технологічному встаткуванні.

Система діагностування стану обладнання під час обробки побудована на основі аналізу показників, значення акустичної емісії, яка виникає в матеріалі, що оброблюється. В залежності від значення показників акустичної емісії можна зробити висновок про об'єм матеріалу, що зрізується під час обробки деталі. В залежності від режимі різання, а саме швидкості різання подачі, і глибини різання, вираховується прогнозований об'єм матеріалу, що буде зрізано. Надалі порівнюють значення отриманого об'єму зі значення прогнозованого об'єму зрізаного матеріалу.

На основі отриманих даних робиться висновок про відповідність заданим режимам різання реального процесу обробки. Відхилення значень вимірювання від прогнозованих значень, є показником відмов, а саме відмови обробляючого інструмента або одного з основних елементів верстата, на якому проводиться процес обробки.

Використання даної системи діагностики при обробці деталей на фрезерних багатоцільових верстатах

дозволяє, під час процесу обробки деталі, завчасно попередити можливість зношення або руйнації різального інструмента, а також не коректної роботи верстату. Завчасне попередження про можливі збої в виконанні технологічного процесу обробки, дозволяє зменшити відсоток бракованих деталей, зменшити затрати коштів на усунення недоліків в роботі обладнання і закупівлі нового різального інструмента.

Дана система може мати різну конструкцію в залежності від конструкції багатоцільових фрезерних верстатів і технологічного процесу виготовлення.

## **РОЗРОБКА МЕТОДУ КОМПЛЕКСНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЗАГОТІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА**

В. О. Залога, д.т.н., проф., О. Д. Динник, асп.,  
О.В. Івченко, к.т.н., асист.  
Сумський державний університет, Суми

Проблема удосконалення механізму оцінювання ефективності системи управління якістю (СУЯ) заготівельного виробництва (ЗВ) сьогодні є надзвичайно актуальною. Для оцінювання ефективності СУЯ ЗВ необхідна її конкретизація шляхом визначення критеріїв, пов'язаних з ними показників і відповідних цим критеріям умов ефективності. Тому сьогодні актуальним є питання розробки методу комплексного оцінювання СУЯ ЗВ, результати якого можна використовувати для удосконалення як процесів даної системи, так й для удосконалення системи управління виробництвом підприємства. В той же час, модель оцінювання

ефективності СУЯ повинна включати оцінку вкладу кожного з процесів цієї системи в досягнення поставлених цілей перед ЗВ машинобудівного підприємства.

За результатом проведеного аналізу робіт в галузі управління якістю, було встановлено, що оцінювання ефективності СУЯ повинна визначати всі аспекти функціонування відповідної діяльності в ході процесу. Це пов'язано з тим, що особа, відповідальна за ухвалення рішень щодо управління цим процесом, повинна обов'язково використовувати інформацію, що містить максимум даних про техніко-економічні показники і прогресивність виробничого процесу, наприклад, про міру його автоматизації й універсалізації.

Метою дослідження є розробка методу комплексного оцінювання ефективності СУЯ ЗВ на основі розрахунку системних показників діяльності СУЯ.

Для оцінювання ефективності СУЯ ЗВ машинобудівного підприємства, запропоновано використовувати комплексний метод оцінювання ефективності системи ЗВ, що складається з різних груп оцінюваних показників і заснований на вживанні узагальненого показника ефективності системи ЗВ.

Загальний показник ефективності діяльності ЗВ машинобудівного виробництва запропоновано визначати згідно модернізованої функції Харінктона (функції «бажаності»):

$$Y_{ef} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n Y_{efi}} ,$$

де  $Y_{efi}$  – значення  $i$ -го показника ефективності СУЯ ЗВ.

В якості показників ефективності СУЯ ЗВ в дослідженні використані наступні комплексні показники:

$Y_{\text{м}}$  – показник рівня якості матеріальних ресурсів ЗВ;

$Y_{\text{т}}$  – показник рівня технічних ресурсів ЗВ;



$Y_{\text{вп}}$  – показник кваліфікації виробничого персоналу ЗВ;  
 $Y_{\text{деф}}$  – показник рівня дефектної продукції ЗВ;  
 $Y_{\text{ф}}$  – показник рівня використання фінансових ресурсів;  
 $Y_{\text{і}}$  – показник рівня використання інформаційних ресурсів.

Таким чином, розроблена модель оцінювання ефективності СУЯ ЗВ машинобудівного виробництва дозволяє враховувати мету, ресурси, результати, витрати на відповідності і можливі витрати на невідповідності проведення діяльності, пов'язаної з оцінюванням якості діяльності системи ЗВ машинобудівного підприємства і дозволяє визначити ступінь досягнення існуючої стратегії машинобудівного підприємства.

## **УПРАВЛЕНИЕ ЗАТРАТАМИ НА КАЧЕСТВО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

В. А. Залога, д.т.н., проф., А. В. Ивченко, к.т.н., ассист.,  
Ю. А. Погоржельская, ассист.

Сумский государственный университет, Сумы

Современные машиностроительные предприятия характеризуются взаимосвязанной сетью производственных процессов, от правильной организации которых зависит эффективность их деятельности. В ходе исследований установлено, что процессы инструментальной подготовки производства (ИПП) оказывают значительное влияние на качество процессов основного производства, а, следовательно, на конкурентоспособность предприятия.

В то же время одной из основных целей современных предприятий является поддержание

стабильности их деятельности в условиях всемирного экономического кризиса. Существует ряд способов, позволяющих решить данную проблему, одним из которых является оптимизация затрат на качество процессов ИПП.

При решении поставленной задачи необходимо учитывать, что:

1) инструментальная подготовка производства охватывает различные этапы производственной деятельности в рамках вращения технологической оснастки и часто является «производством в производстве»;

2) величина номенклатуры оснастки превышает номенклатуру выпускаемых изделий.

Исследования показали, что учесть перечисленные факторы при минимизации затрат на качество позволяет метод дерева решений (дерева вероятностей).

Дерево решений позволяет графически изобразить процессы жизненного цикла инструментальной подготовки производства (ЖЦ ИПП), отразить альтернативные состояния среды и соответствующие вероятности протекания процессов.

Фрагмент дерева решений для ИПП машиностроительного предприятия показан на рис.

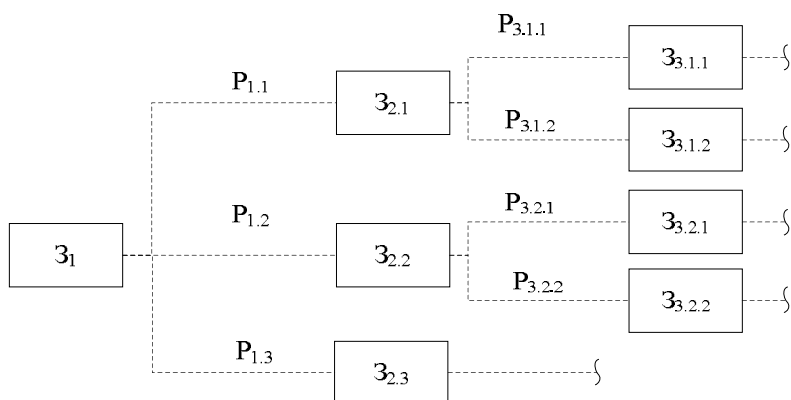


Рис. Фрагмент дерева решений для ИПП

На рис. 1:  $Z_1, Z_2, Z_3$ — затраты на качество процессов жизненного цикла ИПП (на первом, втором и третьем этапе соответственно),  $P_{1.1}, P_{1.2}, P_{1.3}$  – вероятности изменения качества первого процесса ЖЦ ИПП по первому, второму и третьему сценарию соответственно,  $P_{3.1.1}, P_{3.1.2}, P_{3.2.1}, P_{3.2.2}$ — вероятности протекания второго процесса ЖЦ ИПП по четырем различным сценариям.

Таким образом, такая интерпретация ЖЦ процессов ИПП дает возможность спрогнозировать наиболее вероятный сценарий протекания процессов ИПП и определить суммарные затраты на качество всех процессов, а также скорректировать ход их выполнения при сведении к минимуму вероятность возникновения неблагоприятных факторов.

## **ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НОРМАТИВНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ҐРУНТІВ В УКРАЇНІ ТА КРАЇНАХ ЄС**

В. О. Залога, д.т.н., проф., О. В. Івченко, к.т.н., асист.,  
Н. М. Удод, асп.

Сумський державний університет, Суми

Стандартизація та нормування якості ґрунтів проводяться з метою забезпечення охорони здоров'я та сприятливих умов для населення, а також охорони довкілля. Для цього встановлено комплекс обов'язкових норм, правил і вимог до охорони земельних угідь від забруднення та забезпечення екологічної безпеки.

Мета роботи – проведення порівняльного дослідження вимог нормативних документів щодо проведення оцінювання якості ґрунтів в Україні та країнах Європейського Союзу.

В країнах ЄС розвивається регіональна стандартизація в області контролю якості ґрунту. Вміст хімічних речовин в ґрунті нормується, як правило, в національних стандартах. На міжнародному рівні нормативів вмісту забруднюючих речовин в ґрунті немає.

За результатами досліджень встановлено, що критичні рівні вмісту забруднюючих речовин в країнах ЄС перевищують гранично допустимі концентрації забруднюючих речовин ґрунтів України в десятки і сотні разів. Більш близькими за значеннями є нормативи вмісту забруднюючих речовин в ґрунтах України і Нідерландів, але стандарти забруднення ґрунтів України значно жорсткіші, ніж у країн ЄС.

В Україні для санітарно-гігієнічної оцінки ґрунтів зазвичай використовують гранично допустимі і орієнтовно допустимі концентрації (ГДК і ОДК) забруднюючих речовин. Рівень забруднення прийнято оцінювати за кратністю перевищення ГДК, класу небезпеки речовин, допустимій повторюваності концентрацій заданого рівня.

На сьогодні в Україні затверджені найбільш жорсткі в порівнянні із зарубіжними країнами гранично допустимі концентрації, які практично неможливо витримати в умовах великих промислових міст.

Також в Україні нормування якості ґрунтів історично направлене, в першу чергу, на охорону ґрунтів сільськогосподарських угідь і, тим самим, на забезпечення охорони здоров'я населення, що споживає вирощені в країні продукти харчування.

Оцінювання забруднення ґрунтів в Україні проводиться переважно на основі визначення сумарного показника забруднення, який визначається як сума відношень фактичних концентрацій шкідливих речовин в ґрунті до регіональних фонових концентрацій цих речовин. Сумарний показник забруднення нормований; залежно від його величини ґрунти відносять до однієї з категорій (від

допустимої до надзвичайно небезпечної міри забруднення). Хоча оцінка стану ґрунтів, заснована на цьому показнику, є поширеною, але її не можна визнати досконалою.

У країнах-членах ЄС, поряд з нормативами якості ґрунтів сільськогосподарських угідь, встановлені критерії оцінки забрудненості ґрунтів майданчиків, які використовуються або використовувалися як виробничі. Критерії, встановлені в різних державах, досить близькі; таблиці показників включають пріоритетні неорганічні і органічні забруднюючі речовини.

Широке використання у вітчизняній практиці критеріїв оцінки забруднення ґрунтів і ґрунтів промислових майданчиків, поширених в країнах-членах ЄС, можна розглядати як реалізацію принципу гармонізації екологічних стандартів. Оновлення і уточнення критеріїв (відповідно до останніх даних і офіційних документів, прийнятих в ЄС), а також розробка і прийняття зведення правил (або іншого нормативного акту), що закріплює правомірність вживання обговорюваних показників, сприяли б впорядкуванню підходів до нормування і оцінки якості ґрунтів та наближенню нормативного забезпечення цих робіт в Україні до підходів країн ЄС.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ТРЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ**

О.А. Залога, асп.

Сумский государственный университет, Сумы

Моделирование обработки резанием в настоящее время является актуальной задачей. Как показывают

исследования, еще не существует моделей, позволяющих получать адекватные прогнозы одновременно по всем показателям процесса в широком диапазоне режимов резания. Главной причиной сложившейся ситуации является весьма произвольное, в большинстве работ, задание модели трения как соотношения между касательными и нормальными напряжениями на контактных поверхностях инструмента. Более того, во многих работах именно подбором коэффициента трения были достигнуты адекватные результаты моделирования. В связи с этим является актуальной задача экспериментального определения модели трения при резании.

Важным условием проведения экспериментальных измерений коэффициента трения при резании (среднего коэффициента трения) является создание условий, характерных для контактирования стружки с передней поверхностью лезвия: ювентильность поверхностей трения, соответствующие структура и состояние обрабатываемого и инструментального материалов, а также соответствие технологической среды той, которая используется при конкретном виде обработки.

Поскольку структура обрабатываемого материала влияет как на адгезионные, так и диффузионные процессы, то эксперименты должны проводиться с образцами с той же твердостью и структурой, которые могут иметь место при резании.

Основной проблемой известных способов измерения адгезионной составляющей является невозможность стабилизации микрорельефа поверхности контртела (менее крепкого тела) с сохранением режима внешнего трения. Прототип устройства, которое обеспечивает измерение момента трения методом вращающегося, относительно плоского контртела, с

жесткой схемой нагружения сферического индентора, реализован на базе вертикально-фрезерного станка 6P12. Выбор базовой системы для реализации устройства обусловлен необходимостью обеспечения высокой жесткости механизма нагружения в направлении оси действия нормальной силы с возможностью одновременного добавления вращения вокруг этой же оси. Жесткость использованного станка составляет  $j_z = 55$  мкм/кН.

В первые моменты времени момент трения интенсивно растет, а нормальная сила несколько уменьшается из-за интенсивной деформации контактной поверхности и изменения ее микрорельефа. Дальше интенсивность этих процессов замедляется и в определенный момент времени наступает стабилизация величины фактической площади контакта - момент трения и нормальная сила остаются постоянными в пределах точности измерений. В этот момент измерения прекращают, быстро разгружая систему. По полученным отпечаткам на инденторе и контртеле определяют показатели модели трения.

## **СУЧАСНІ САФД-СИСТЕМИ У МАШИНОБУДУВАННІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

В. О. Іванов<sup>1</sup>, асист., В. Є. Карпусь<sup>2</sup>, д.т.н., проф.

<sup>1</sup>Сумський державний університет, Суми,

<sup>2</sup>Національний технічний університет “Харківський  
політехнічний інститут”, Харків

Подальший розвиток України як самостійної  
держави з власною розвиненою машинобудівною

індустрією можливий за рахунок впровадження інноваційних проектів, які, в першу чергу, сприятимуть підвищенню конкурентоспроможності української машинобудівної продукції, що можливо завдяки скороченню часу на технологічну підготовку виробництва.

Проведений аналіз показав, що 80–90% часу на технологічну підготовку виробництва витрачається на проектування та виготовлення верстатних пристроїв (ВП), які призначені для базування та закріплення заготовок під час обробки на верстатах. Скорочення цих витрат часу можливе за рахунок автоматизації процесів, пов'язаних з проектуванням ВП, шляхом розроблення CAFD–систем .

CAFD (computer-aided fixture design) – це система автоматизованого проектування компоновок ВП та розроблення необхідної конструкторсько-технологічної документації.

Огляд сучасної літератури показав, що основними розробниками CAFD–систем є наукові лабораторії США, Китаю, Сінгапуру, які спеціалізуються на створенні систем для операцій механічної обробки заготовок, складальних операцій, зварювання, штампування. Основними завданнями сучасних CAFD–систем для операцій механічної обробки заготовок є:

- визначення функціональних поверхонь заготовки та вибір відповідних стандартизованих нерегульованих функціональних елементів з бази даних;

- компонування верстаного пристрою з числа вибраних елементів;

- аналіз компоновок за певними критеріями (наприклад, точність установлення заготовки, жорсткість компоновки, металомісткість, ергономічність тощо);



– розроблення конструкторської документації (специфікація, схема складання та налагодження компоновки).

Подальший розвиток CAFD–систем можливий, перш за все, за рахунок вдосконалення їх функціональності. Насамперед, це впровадження математичного апарату для багатокритеріального вибору найвигідніших компоновок ВП з числа конкуруючих варіантів, причому перелік та кількість критеріїв можуть змінюватися або доповнюватися відповідно до заданих умов виробництва. Доведено доцільність формування бібліотеки функціональних елементів на основі системи універсально-збірних переналагоджуваних пристроїв, яка є найефективнішою в умовах багатомоделного виробництва. Для оцінки похибок, які виникають внаслідок пружних деформацій під дією сил різання необхідним є виконання скінченноелементного аналізу компоновок ВП з урахуванням динамічних характеристик. Перспективним є оснащення CAFD–систем модулем розмірного аналізу 3D–моделей компоновок ВП з метою врахування похибки виготовлення функціональних елементів ВП при подальших розрахунках. Актуальним є розроблення 3D–анімацій процесів складання та налагодження компоновок ВП, що дозволить скоротити витрати часу на підготовку ВП до роботи.

Таким чином, впровадження систем автоматизованого проектування ВП на підприємствах машинобудівної галузі дозволить скоротити витрати часу на проектування їх компоновок, оцінити точнісні можливості, економічну ефективність та працездатність, а також прискорити процес підготовки ВП до використання.

## **ПУТИ РАСШИРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ХОНИНГОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ**

Н. А. Иззетов, к.т.н., доц., М. А. Волков, магистрант  
РВУЗ «Крымский инженерно-педагогический  
университет», Симферополь

Процесс хонингования является прогрессивным технологическим процессом современного крупносерийного и массового производства.

Однако все выпускаемые хонинговальные станки предназначены в основном для обработки сквозных, глухих, шлицевых и других цилиндрических отверстий. Поэтому, одним из эффективных направлений дальнейшего расширения области применения и более полного использования технологических возможностей хонинговальных станков является применение их при обработке точных конических отверстий.

Известно, что процесс алмазного хонингования, в настоящее время, располагает большими потенциальными возможностями для снятия значительных припусков и интенсивного исправления значительных исходных погрешностей геометрической формы обрабатываемого отверстия. При этом, причиной узкого применения процесса конического хонингования до настоящего времени было связано в основном с отсутствием специальных хонинговальных станков, позволяющих использовать на них разработанные конструкции инструментов для хонингования конических отверстий. Однако эффективное использование разработанных хонинговальных станков без их модернизации и совершенствования практически не возможно. Это объясняется тем, что кинематика движения

режущих зерен при хонинговании конических отверстий отличается от кинематики движения зерен цилиндрического хонингования дополнительным радиальным возвратно-поступательным движением. Для осуществления такого движения необходимо преобразование возвратно-поступательное движения шпинделя с корпусом хона вдоль оси обрабатываемого отверстия в возвратно-поступательное движение брусков вдоль образующей обрабатываемого отверстия. Для этого шпиндель станка должен состоять из двух телескопически взаимодействующих между собой конечных звеньев, где одно звено должно совершать вращательное вокруг и возвратно-поступательное вдоль оси обрабатываемого отверстия, а второе только вращательное движение вместе с корпусом хона, но с возможностью осевого перемещения в сторону малого диаметра отверстия для радиальной подачи.

Для реализации поставленной цели нами разработана и изготовлена конструкция опытного образца модернизированного шпиндельного узла хонинговального станка мод. 3Н8. Проведена серия экспериментов по хонингованию конических отверстий на деталях из Ст.40, с углом конусности  $\frac{\alpha}{2} = 4^{\circ}$ , с отверстием у большого диаметра  $D_{\text{УСЛ}}=110\text{мм}$ , высота отверстия – 120 мм.

Результаты проведенных экспериментов показали что использование нового шпиндельного узла станка расширяет технологические возможности за счет обработки конических отверстий различной длины, а также повысить точность и производительность процесса хонингования конических отверстий путём стабилизации радиальной подачи брусков, для обеспечения удельного давления  $P_y$  на обрабатываемой поверхности.

## **ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ЗАТОЧКИ ГОЛОК ВАЛКІВ ЧЕСАЛЬНИХ МАШИН ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ ІНСТРУМЕНТА ТА ДЕТАЛІ**

В. І. Кальченко, д.т.н. проф., В. В. Кальченко д.т.н., проф.,  
А. В. Кологойда, асп.  
Чернігівський державний технологічний університет,  
Чернігів

Підприємство АТ «ЧЕКСИЛ-Ариадна» у Чернігові є найбільшим в Європі по виробництву виробів із вовни. Чесальний агрегат включає подавальний і чесальні барабани, діаметром від 900 мм «Vefama» до 3,5 м фірми «Oktir», які через свої габарити шліфуються прямо на агрегаті, а робочі валики, які працюють в парі з барабанами, діаметром до 240 мм, знімаються з агрегату і шліфуються на круглошліфувальних верстатах.

Шліфування торців вигнутих циліндричних голок робочих валиків і барабанів текстильних машин на відомих верстатах здійснюється циліндричним інструментом у вигляді валика, обтягнутого абразивною стрічкою або кругом, при цьому осі обертання інструмента і оброблюваних барабанів не лежать в одній горизонтальній площині. Як показали теоретичні й експериментальні дослідження прогин циліндричної прямої у середній її частині від власної ваги з урахуванням маси шліфувальної голівки дорівнює 0,18 мм, це викликає похибку твірної барабана у вигляді ввігнутої гіперболи, що приводить до нерівномірного зазору між головним і знімним барабанами в процесі прочосу і збільшує відсоток випуску неякісної продукції.

Знімання припуску здійснюють за пружною схемою, де в процесі створення натягу в системі круг-деталь голки оплавляються через високі температури в зоні

шліфування і виникають задирки. Розміри задирки залежать від режимів заточування, оброблюваного матеріалу, характеристики шліфувального круга, максимальний розмір її знаходиться на кінчику голки. Задирка на голці, що виступає за її номінальний діаметр, створює перешкоду для сходу вовни при прочосі та є причиною обриву нитки, що приводить до браку.

За існуючою технологією заточування голок, задирки на них частково видаляються за рахунок реверсивного переміщення абразивних брусків уздовж осі оброблюваного валика.

При заточці голчастої поверхні барабанів і валиків текстильних машин циліндричним інструментом робочий елемент – її кінчик має форму еліпса, розміри більшої півосі якого залежать від кута нахилу голки при заточці.

Форма робочого елемента голки та твірної голчастої поверхні робочих валиків і барабанів текстильних машин залежить від кінематики заточування. Для підвищення якості заточування голок запропонована нова концепція формоутворення циліндричної голчастої поверхні торцем круга з керованою орієнтацією положення його осі відносно осі обертання оброблюваної деталі. У порівнянні з відомими способами заточування циліндричним кругом, де відхилення від прямолінійності твірної деталі залежить від непаралельності осей її та круга у вертикальній площині, шліфування плоским торцем виключає скривлення твірної при переміщенні круга у вертикальній площині в межах його діаметра. Керована орієнтація осі шліфувального круга змінює напрямок вектора результуючої швидкості різання, що визначає величину задирки, а отже і якість заточування. Максимальний розмір задирки знаходиться на кінчиках голок у площині, що збігається з напрямком вектора результуючої швидкості шліфування.

## **КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБРОБКИ ОТВОРІВ КОМБІНОВАНИМИ ОСЬОВИМИ ІНСТРУМЕНТАМИ**

В. Є. Карпусь, д.т.н., проф., М. С. Іванова, асп.  
Національний технічний університет  
“Харківський політехнічний інститут”, Харків

Одним з перспективних напрямків підвищення економічної ефективності технологічного обладнання є збільшення ступеня концентрації технологічних переходів, у першу чергу, завдяки застосуванню відповідної технологічної оснастки. При обробці отворів для цього доцільно застосовувати комбіновані осьові інструменти (КОІ).

Різноманітність конструктивно-технологічних характеристик КОІ дозволяє обробляти різні за геометрією та якістю поверхонь отвори, використовуючи відповідну послідовність виконання технологічних переходів. Наприклад, обробляючи гладкий отвір інструментом «зенкер-розвертка» або «зенкер-розвертка-мітчик», суміщення технологічних переходів відбувається послідовно, а ступені інструмента працюють за послідовною схемою різання. При одночасній обробці співвісних поверхонь, що знаходяться на деякій відстані одна від одної, ступені КОІ здійснюють паралельну обробку, якщо одночасно починають обробку та одночасно її закінчують. Найпоширенішим є послідовно-паралельний принцип роботи ступенів, при якому починає оброблення перший ступінь, далі інші, таким чином, що деякий час усі ступені працюють одночасно. Це характерно таким КОІ, як «Свердло-зенкер-зенківка», ступінчасті зенкери тощо.

Сучасні умови багатомовного виробництва вимагають підвищеної гнучкості технологічної оснастки, тому доцільно не лише використовувати збірні КОІ, а і

розробляти та впроваджувати КОІ, виготовлені за модульним принципом. Нами запропонована конструкція модульного КОІ, яка дозволяє компонувати необхідний для обробки інструмент з уніфікованих елементів (модулів) двох типів: осьового (спіральне свердло або зенкер) та кільцевого (кільцеве свердло або зенкер). Кільцевий модуль кріпиться на осьовий за допомогою різьбового з'єднання, наявність якого дозволяє регулювати довжину першого ступеня КОІ.

Для підвищення точності обробки КОІ на виробництві використовують засоби додаткового спрямування (по кондукторній втулці, по конструктивному елементу інструмента).

Так, при спрямуванні двоступінчастого свердла по кондукторній втулці сумарну величину зміщення осі  $\Delta_o$  можна знайти за формулою:

$$\Delta_o = \Delta_p + \Delta_s,$$

де  $\Delta_p$  - пружні переміщення осі під дією неврівноваженої складової радіальної сили  $\Delta P_y$ , мм;

$\Delta_s$  - зміщення осі, що виникає внаслідок наявності зазору  $S$  між інструментом та кондукторною втулкою, мм.

Вплив зазору  $S$  можна оцінити за формулою:

$$\Delta_s = \frac{S \cdot (L_{\dot{a}\dot{o}} + L_{\zeta})}{(L_{\dot{a}\dot{o}} + L_{\zeta} - L_1)},$$

де  $L_{\dot{a}\dot{o}}$  - довжина кондукторної втулки, мм;

$L_{\zeta}$  - відстань від торця кондукторної втулки до торця оброблюваної деталі, мм;

$L_1$  - довжина ступеня КОІ меншого діаметра, мм.

Виконані дослідження підтверджують, що застосування кондукторних втулок при свердлінні інструментом  $L/d \geq 10$  дозволяє зменшити зміщення осі  $\Delta_o$  на 25 – 30 %.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРОАКУСТИЧНОГО СИГНАЛУ ПРОЦЕСУ ФРЕЗЕРНОЇ ОБРОБКИ**

О. В. Катрук, асист., С. П. Вислоух, к.т.н., доц.  
Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”, Київ

В сучасному приладобудуванні переважно використовують корпуси приладів складної форми, виготовлення яких здійснюється шляхом фрезерування на верстатах з числовим програмним керуванням. Для досягнення необхідних параметрів якості обробленої поверхні, а також підвищення продуктивності механічної обробки пропонується використання автоматизованої системи керування процесом обробки.

Тому поставлена задача дослідження параметра для створюваної системи керування, що характеризує стан процесу обробки деталі фрезеруванням.

З метою розв'язання цієї задачі виконано аналіз літературних джерел, на основі якого вибрано параметр керування, який в достатній мірі характеризує процес фрезерування і може бути використаний в автоматизованій системі. Встановлено, що таким параметром є віброакустичний сигнал, отримуваний в процесі обробки деталі.

Для дослідження вибраного параметру вібрації визначено реальні значення частот обертання вихідного валу та двигуна за допомогою акселерометра, який показав, що їх значення відрізняються від паспортних даних менше ніж на 0,1%. Це дозволило виконати розрахунок теоретичних значень віброакустичного сигналу, для виявлення головних джерел віброакустичних збурень.



Експериментальні дослідження виконували на верстаті 6Б75ВФ1 згідно з розробленим планом, при цьому швидкість обертання шпинделя становила 1120, 1400, 1800, 2240 об/хв.

Вимірювання параметрів вібрації здійснювали в двох точок – на шпиндельній головці, та безпосередньо поблизу зони обробки, а саме – на затискних губках лещат. Дослідження параметрів вібрації проводили в чотири етапи. Спочатку вимірювали сигнал двигуна подачі, далі – сигнал двигуна шпинделя, на третьому етапі – робота двох двигунів і на останньому етапі – в процесі фрезерування деталі. В якості датчика віброакустичного сигналу використано електричний п'єзоперетворювач ДН-3-М1. Отримані сигнали вібрації передавались через підсилювачі та перетворювачі на персональний комп'ютер, де вони оброблялись за допомогою відповідного програмного забезпечення. Для попередньої обробки цього сигналу використовували програму «Cool Edit 2000», що дозволила отримати ділянки сигналу відповідного етапу дослідження. Подальший аналіз спектральних характеристик сигналу виконували за допомогою програми «SpectraPLUS Professional Edition».

Виконані дослідження показали, що найбільший вплив на шумові складові віброакустичного сигналу має вихідний вал, який має найбільшу частоту обертання, а також найближче розташування до датчика вимірювань. Крім того встановлено, що зона високих частот віброакустичного сигналу є найкраще характеризує процес фрезерної обробки.

Вказані дослідження дозволяють створити систему керування процесом обробки на основі використання віброакустичного сигналу, що забезпечує високу продуктивність та необхідні параметри якості обробленої поверхні.

## **ТОЧНІСТЬ ВЕРСТАТІВ З ПЛОСКИМИ МЕХАНІЗМАМИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ**

А. М. Кириченко, к.т.н., доц., С. М. Заїка, асп.  
Кіровоградський національний технічний університет,  
Кіровоград

Серед технологічного обладнання (ТО) з паралельною кінематикою широке розповсюдження знайшли верстати з комбінованою кінематичною структурою, в яких механізм паралельної структури поєднується з одною або кількома звичайними осями координат, що дозволяє об'єднати переваги та компенсувати недоліки верстатів з традиційною й паралельною кінематикою.

Використання в трьохкоординатних верстатах з комбінованою кінематикою плоских механізмів паралельної структури (МПС), таких, як „лямбда” та „біглайд” дає ряд переваг, серед яких – відносно проста конструкція і в той же час високі технічні характеристики за рахунок високої жорсткості та можливості одержання робочої зони необмеженої довжини.

Питанням аналізу структури та кінематики верстатів на основі плоских МПС присвячені численні праці, якими встановлені методи одержання прямих та зворотних кінематичних залежностей.

Зворотна задача кінематики використовується для управління приводами верстата. Її вирішення полягає у визначенні величини переміщення приводів при відомих геометричних параметрах МПС та координатних переміщеннях робочого органу. На основі отриманих залежностей складається матриця Якобі, що представляє собою відношення похідних швидкостей приводів до зміни координат положення робочого органа. За умови

виродження матриці Якобі, будуть виникати особливі положення. Розрізняють два види особливих положень, один з яких пов'язаний зі зникненням деяких ступенів вільності (послідовна сингулярність), а інший – з появою некерованої рухомості (паралельна сингулярність).

Пряма задача кінематики є досить складною, оскільки для переміщення робочого органа по осям координат необхідний одночасний узгоджений рух кількох приводів. Проте, саме вирішення прямої задачі кінематики дає змогу перейти до визначення точності – одного з найважливіших показників якості верстатів, що суттєво впливає на всі вихідні характеристики.

Відомо, що точність відпрацювання координатних переміщень верстатів визначається точністю позиціонування їх приводів. Тобто, для визначення точності верстата на основі МПС необхідно знати точність приводів його ланок, і визначити її вплив на точність позиціонування робочого органу.

При розгляді впливу точності приводів на точність верстатів на основі плоских МПС „лямбда” та „біглайд”, встановлено, що, при відповідно підібраних раціональних конструктивних параметрах, для обох механізмів результуюча похибка в напрямку  $X$  постійна і дорівнює похибці приводу. В напрямку  $Y$  для механізму „лямбда” результуюча похибка перевищує похибку приводів в 1,5 – 2,4 рази на ближній та дальній межах робочої зони відповідно, а для механізму „біглайд” в 1,5 рази на краях і в 2,1 разів – всередині робочої зони.

Оскільки, результуюча точність обох механізмів майже ідентична, то через ряд конструктивних переваг, для подальших дослідженнях щодо підвищення точності обрано верстат на основі плоского МПС „лямбда”.

# **ЗАСТОСУВАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОЦЕСУ НАРІЗАННЯ ТОРЦЕВИХ КАНАВОК**

М. П. Кутовий, асист.  
Сумський державний університет, Суми

Однією з характерних рис сучасного розвитку галузі машинобудування є завдання щодо вибору якісного та дешевого різального інструмента. Велика кількість фірм пропонують свій інструмент за допомогою якого «можливо вирішити всі проблеми обробки матеріалів». В той же, час проблема нарізання торцевих глибоких канавок (глибиною від 5 мм) залишається актуальною.

В даній роботі запропоновано провести дослідження впливу технологічної системи обробки глибоких торцевих канавок на параметри якості перебігу процесу обробки та кінцевого результату (якість обробленої поверхні та стійкість інструмента).

Для вирішення поставленої мети було запропоновано використати апарат імітаційного моделювання всієї технологічної системи обробки. Що дозволило мінімізувати кошти та час на проведення експерименту, отримати об'єктивні дані щодо ступеня впливу конкретного елемента системи на кінцевий результат та картину перебігу всього процесу обробки.

В якості технологічної системи обробки торцевих глибоких канавок було прийнято систему заготівка-інструмент-кріплення-верстат (змащувально-охолоджуюча рідина в роботі не враховувалась).

Для проведення моделювання було розроблено 3D моделі: державок інструмента (прямий та Г-подібний тип державки); декількох видів пластин, які відрізняються одна від одної формою передньої поверхні (формою

стружколомаючої канавки та кутів різальної кромки); та двох видів різцетримачів.

За допомогою програмного забезпечення ANSYS було проведено процедуру ділення 3D моделі технологічної системи на кінцеві елементи, а за допомогою програмного забезпечення LS-DYNA було проведено розрахунок перебігу процесу механічної обробки глибоких торцевих канавок. При проведенні розрахунків в якості вхідних параметрів були однакові режими різання ( $t=15$  мм,  $s=0,16$  мм/об,  $n=2000$  об/хв), матеріал пластини ВК6, матеріал заготовки сталь 45.

Якість отриманих результатів в ході проведення імітаційного моделювання перебігу процесу обробки торцевих глибоких канавок перевіряли за допомогою натурного експерименту. Кінцеві результати обробки за натурним експериментом та даними моделювання відрізняються за значенням менше ніж 10 %.

За результатами моделювання перебігу процесу обробки торцевих глибоких канавок можна зробити наступні висновки:

по-перше, на якість перебігу процесу впливає як якість та геометричні параметри інструмента, так і форма стружки;

по-друге, за результатами проведеного моделювання розроблені критерії вибору геометрії пластини по передній поверхні за формоутворенням стружки;

по-третє, за результатами моделювання запропоновано алгоритм вибору раціональної форми передньої поверхні інструмента для досягнення обумовленого кінцевого результату.

по-четверте, результати моделювання можуть бути використані для розробки нових форм різальних пластин, без проведення додаткових натурних експериментів.

## **ДО ПИТАННЯ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ ШОРСТКОГО ШАРУ ПОВЕРХНІ ПІСЛЯ ШЛІФУВАННЯ КРУГАМИ ІЗ НТМ**

**В. І. Лавріненко, д.т.н., с.н.с., О. О. Пасічний, к.т.н., н.с.,  
Г. А. Петасюк, к.т.н., с.н.с., В. В. Смоквина, асп.  
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля  
НАН України, Київ**

Шорсткість поверхні вимірюють за стандартними висотними параметрами  $R_a$  та  $R_z$ , а також за параметрами кроку. Шорсткість як інформаційний параметр дає нам уявлення про перебіг процесу обробки, а також про утворення шорсткості різального інструмента. В нашому випадку таким різальним інструментом є алмазний шліфувальний круг з його різальною поверхнею, яка в процесі обробки може відображатися та поверхні оброблюваної деталі та нести корисну інформацію.

Задачею даного дослідження було побудувати тривимірну модель (3D-модель) шорсткого шару обробленої поверхні деталі шліфувальними кругами із НТМ. Відповідно дана модель обробленої поверхні деталі у певній мірі повинна відображати наближену картину різальної поверхні шліфувального круга.

Сучасне програмне забезпечення завдяки своєму розвитку технології математичного моделювання дозволяє вирішувати складні аналітичні задачі. Моделювання процесів вже знайшли своє застосування і у алмазно-абразивній обробці.

Для вимірювання шорсткості був застосований профілометр-профілограф моделі SurfTest SJ-201 фірми Mitutoyo (Японія), який був підключений до комп'ютера. Для побудови тривимірної моделі застосовували

математичний пакет Mathcad, що має модуль тривимірної побудови.

Методика досліджень базувалася на наступному. Була виміряна поверхня обробленої деталі довжиною 1,2 мм і такої ж ширини. Проводили по 50 вимірів (профілограм) у повздовжньому і стільки ж у поперечному напрямках. Далі вводили тривимірну систему координат, вісь  $X$  якої ототожнювали з повздовжнім напрямком, вісь  $Y$  – з поперечним. По вісі  $Z$  відкладали висоту шорсткості поверхні. Кожна профілограма мала 5000 точок. Далі приймали, що виміри здійснюються вздовж прямих ліній  $x_i = x_0 + ih_x$  і  $y_j = y_0 + jy_y$ ,  $i = 1, N$ ;  $j = 1, N$ ;  $N = 5000$ , де  $h_x$  і  $y_y$  – дискретність точок по довжині та ширині поверхні сканування відповідно. В результаті отримуємо матрицю чисел розміром  $5000 \times 5000$ . Із цієї матриці була виділена матриця чисел  $E = \{e_{ijm}\}$ ,  $i = 1, N$ ;  $j = 1, N$ ;  $m = 1, N$ ;  $N = 50$  розміром  $50 \times 50 \times 50$ .

Розробку 3D–моделі шорсткого шару обробленої деталі алмазним шліфуванням твердого сплаву ВК8 кругом 12A2-45° AC6 160/125 M1-10 50% здійснювали із застосуванням математичного апарату двовимірних кубічних сплайнів. цей математичний апарат був узагальнений на тривимірний випадок разом із розробкою відповідних комп'ютерних програмних засобів і використаний для побудови емпіричних математичних моделей процесів алмазно-абразивної обробки.

Використання 3D–моделювання для вивчення особливостей процесу алмазної обробки інструментом із НТМ, дозволить мати можливість прогнозувати різальну здатність шліфувального круга по шорсткості обробленої поверхні деталі, а також визначення протікання процесу обробки з метою забезпечення найбільш ефективних і оптимальних умов обробки.

## **МОДУЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ НА ОСНОВІ СТАНДАРТІВ STEP**

О. С. Лапіга, асп., С. П. Вислоух, к.т.н., доц.  
Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”, Київ

Сучасні вітчизняні приладо- та машинобудівні підприємства потребують реорганізації та впровадження новітніх методів технологічної підготовки виробництва. Застосування систем автоматизованого проектування технологічних процесів дозволяють скоротити тривалість виробничо-технологічного циклу при забезпеченні високої якості як проектних рішень, так і виготовлених виробів. Але при впровадженні САПР ТП виникають багато проблем, що насамперед пов'язані із формалізацією деяких етапів проектування технологічних процесів, які у значній мірі залежать від рішень проектувальника.

На сьогодні в системах автоматизованого проектування технологічних процесів початкова інформація, що характеризує форму і розміри поверхонь деталі, для розробки керуючих програм задається проектувальником в режимі діалогу. Це потребує значних витрат часу та відповідної кваліфікації проектувальника. Тому поставлена задача розробки модуля CAD/CAM системи, що дозволяє в автоматизованому режимі розроблену технологію обробки поверхонь деталі передати в автоматизовану систему проектування керуючих програм для верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК).

Запропоновано модуль, який ґрунтується на інформаційній моделі деталі, що створена на попередньому етапі технологічного проектування в рамках комплексу стандартів STEP. Методика проектування за



допомогою даного модуля CAD/CAM системи складається з декількох етапів. Спочатку створюється у CAD системі 3D- моделі деталі, яка зберігається в обмінному форматі STEP. Далі інформація даного формату зчитується модулем CAD/CAM системи де автоматично розпізнаються поверхні деталі. Для кожної з поверхонь в автоматизованому режимі визначаються вид операції, необхідна кількість переходів, розраховуються припуски на обробку і міжопераційні розміри, призначаються режими різання тощо. При цьому враховуються такі фактори, як можливості виробничого обладнання, продуктивність обробки, точність та якість поверхні, що обробляється. Оскільки в сучасному виробництві операційна технологія нероздільно пов'язана з етапом розробки керуючих програм для верстатів з ЧПК, то для кожної з поверхонь деталі, що проектується, створюється керуюча програма.

Використання даного модуля дозволить уникнути помилок безпосередньо при виготовленні деталі. Таким чином, результатом роботи запропонованого модуля буде технологічна документація на обробку деталі та файл даних з керуючими програмами для верстатів з ЧПК для кожної з поверхонь деталей.

Перевагою використання даного модуля є зручність, наочність представлення форми та видів поверхонь, їх параметричне налаштування та точність виконання необхідних розрахунків. Крім того, при використанні запропонованого модуля підвищується продуктивність праці технологів за рахунок зменшення часу на пошук потрібної інформації та її обробки.

## **АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ**

В. П. Ларшин, д.т.н., проф., Н. В. Лищенко, к.т.н., ассист.,  
Салих Али Хамид, магистр  
Одесский национальный политехнический университет,  
Одесская национальная академия пищевых технологий,  
Одесса

Эффективные технологические процессы (ТП) механической обработки характеризуются высокой производительностью (целевая функция для оптимизации) при выполнении требований по качеству поверхности, поверхностного слоя и точности размеров обрабатываемых заготовок. Поэтому задача поиска эффективных ТП является задачей технологической оптимизации.

Обеспечение указанных выше требований решается на двух этапах жизненного цикла изделия: этапе технологической подготовки производства (ТПП) и этапе собственно производства. Наиболее сложно оптимизировать процесс на этапе его выполнения с учетом индивидуальных особенностей элементов технологической системы и возникающей при обработке ситуации. Задача ситуационного управления может быть успешно решена при наличии достоверной информации о фактических параметрах процесса и конечных показателей обработки. Это можно обеспечить двумя путями: контролем процесса и контролем результата обработки. Контроль результата (фактические значения показателей обработки) часто невозможен или трудоемкий. Поэтому выходом из создавшегося положения может быть эффективный контроль процесса, в том числе по промежуточным параметрам, предопределяющим указанные выше требования чертежа. Эффективным методом решения этой

задачи в условиях автоматизации производства является встроенная диагностика состояния технологической системы и адаптивное управление процессом обработки.

На этапе ТПП невозможно предсказать и оценить влияние индивидуальных особенностей элементов ТС на показатели качества обработки, а также оценить соответствие выбранных (на этапе ТПП) режимов обработки условию ее максимальной производительности. Это можно сделать путем контроля фактических показателей качества обработки и сравнением их с требованием чертежа. Или это можно сделать путем контроля промежуточных технологических параметров (удельная работа резания и т.п.), если известны связи этих параметров с указанными конечными показателями качества обработки.

Оценка влияния индивидуальных особенностей элементов ТС на процесс резания должна выполняться на этапе обработки, где эти особенности проявляются. Следовательно, должны быть соответствующие источники информации как конечных, так и промежуточных параметров и показателей. Эту информацию необходимо учитывать для оптимизации процесса обработки и желательно без применения ручного труда. Такая задача может быть возложена на систему ЧПУ станка, если в её состав будут включены соответствующие средства (измерительные преобразователи исходной информации, автоматические регуляторы режимов резания и т.п.).

При этом ЧПУ может обеспечивать штатный режим работы адаптивной системы путем контроля передаточной функции процесса резания и корректировки в автоматическом режиме передаточной функции замкнутой системы, используя соответствующие предварительно подготовленные библиотеки настроек.

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ БЕЗЦЕНТРОВОГО ШЛІФУВАННЯ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ ФОРМОУТВОРЕННЯ

В. П. Ларшин, д.т.н., проф., І. В. Марчук, асп.  
Луцький національний технічний університет, Луцьк

В задачі управління якістю поверхневого шару деталей машин при абразивній обробці актуальним напрямом є розробка моделей, які адекватно відображають процес формування шорсткості та хвилястості. На цей процес впливає безліч технологічних параметрів, але всі вони можуть бути зведені до двох основних: це геометричний чинник і чинник фізико-хімічної взаємодії оброблюваної поверхні з абразивним інструментом.

Починаючи від першого контакту (торкання) шліфувального круга з деталлю подальше переміщення круга  $X_n$  пов'язане зі зніманням припуску на обробку. При цьому виникає сила різання  $P$ , складовою якої є нормальна сила  $P_n$ , що викликає появу пружних деформацій системи (переміщення  $x_p$ ). Вказані переміщення змінні в часі і тому призводять до зміни положення зони контакту

$$x_a(t) = x_o(t) - x_p(t) \quad (1)$$

Тоді структурна схема динамічного контура безцентрового шліфування кілець підшипників може бути подана згідно з рисунком.

При аналізі динаміки процесу шліфування на перший план виступають два явища. По-перше, нормальна сила шліфування  $P_n$  при стрибкоподібній зміні швидкості візної подачі круга  $V_n$  зростає із запізнюванням,

залежним від релаксації системи верстат – інструмент – деталь (ВІД), а, по-друге, існує можливість виникнення коливань в системі, що викликані наявністю хвилястості або не круглої поверхні деталі і шліфувального круга.

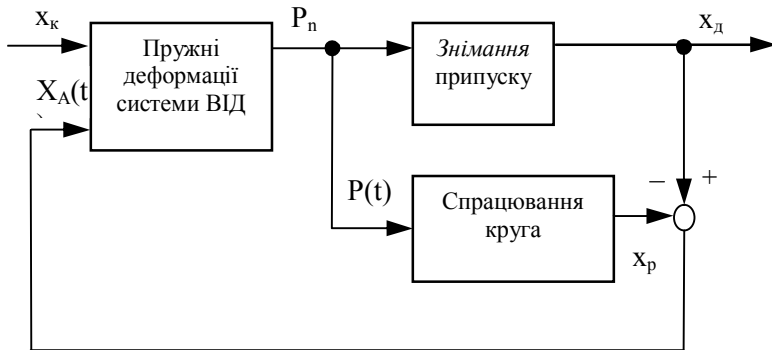


Рис. Структурна схема динамічного контура круглого безцентрового шліфування робочих поверхонь кілець

В результаті теоретичних досліджень математичної моделі отримані частотні характеристики передатних функцій об'єктів технологічної системи безцентрового шліфування робочих поверхонь кілець, які дозволили виявити мінімальну граничну частоту коливань (в межах 10000 Гц), що відповідає високочастотному діапазону. Виведені рівняння для визначення нормальної сили шліфування в залежності від зміни коефіцієнту загальної жорсткості системи ВІД, радіального переміщення шліфувального круга, похибки знімання припуску. Отримані частотні характеристики елементів динамічної системи шліфування покладенні в основу алгоритму автоматизованого адаптивного керування параметрами мікротопографії шліфованих поверхонь обертання кілець конічних роликотішлипників.

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ**

В. А. Логоминов, асп., Ю. Н. Внуков, д.т.н., проф.  
Запорожский национальный технический университет,  
Запорожье

Одним из факторов, сдерживающим рост производительности и повышение качества поверхности при механической обработке резанием нежестких деталей является вибрации. В большинстве исследований посвященных вибрациям при механической обработке изучается устойчивость обработки, однако не проводится количественной оценки точности и шероховатости обработанной поверхности.

Для оценки геометрии обработанной поверхности при концевом фрезеровании нежесткой детали была создана математическая модель, реализованная в пакете ANSYS. Моделирование во временной области состоит из следующих этапов: на каждом временном шаге определяется текущее положение фрезы, мгновенная толщина срезаемого слоя, далее вычисляются силы фрезерования, затем определяем мгновенные координаты заготовки и модифицируем геометрию заготовки.

Фреза представляется в виде множества координат точек режущих кромок зубьев. Это позволяет, в случае необходимости, учесть разношаговость и эксцентриситет фрезы.

Заготовка также задается в виде множества координат точек поверхности. Шаг между точками задается исходя из допустимой погрешности определяемой шероховатости.

Траектория режущих кромок фрезы интерполируется полиномом Лагранжа второй степени.

Толщина срезаемого слоя вычисляется исходя из текущего положения заготовки и режущих кромок инструмента.

Силы резания определяются аналитически.

Положение заготовки в данный момент времени определяется с помощью динамического анализа конечно-элементной модели, реализованного в пакете ANSYS.

Математическая модель определения шероховатости поверхности при фрезеровании нежестких деталей написана на языке параметрического проектирования APDL пакета ANSYS.

Шаг интегрирования по времени выбирается в 20 раз меньшим частоты первой формы колебаний нежесткой заготовки.

Разработанная математическая модель позволяет спрогнозировать шероховатость поверхности при конечном фрезеровании нежесткой детали в зависимости от режимов обработки, характеристик детали и параметров инструмента.

## **ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СТРУЖКОУТВОРЕННЯ ПРИ РІЗАННІ**

М. П. Мазур, д.т.н., проф., А. І. Мещишин, асп.  
Хмельницький національний університет, Хмельницький

При виборі конструктивних елементів під час проектування металорізальних пластин у сучасному машинобудуванні керуються загальними рекомендаціями, що були встановлені експериментальним шляхом та набуті з досвідом. Тому для перевірки працездатності нового

інструмента необхідно його виготовити та провести експеримент у заданих умовах оброблення. Така процедура вимагає значних затрат часу.

Зі збільшенням продуктивності персональних комп'ютерів стало можливим моделювати процеси стружкоутворення методом скінченних елементів з достатньою точністю у відносно малі терміни. Це дозволяє попередньо за допомогою моделювання дослідити взаємодію різального леза із заготовкою під час оброблення, що в свою чергу зменшує витрати часу при виготовленні нового інструмента або перевірки придатності існуючого в нових умовах оброблення.

При високопродуктивному лезовому обробленні на верстатах з ЧПК та оброблювальних центрах швидкість стружкоутворення значна. Механічне видалення стружки із зони оброблення не є доцільним в цих умовах, а найчастіше неможливе. Тому важливо одержати тип та геометричні параметри стружки за допомогою створення відповідних умов стружкоутворення. Це може бути досягнуто багатьма способами, але при обраних оптимальних режимах і умовах оброблення, форма стружки може бути змінена лише шляхом внесення на передню поверхню інструмента відповідних конструктивних елементів.

Ціллю статті було визначення можливості встановлення оптимальних геометричних параметрів передньої поверхні інструмента шляхом комп'ютерного моделювання на основі методу скінченних елементів.

Математична модель була створена за допомогою програмного пакету Abaqus. На першому етапі результати моделювання були порівняні з результатами, отриманими в ході експерименту (рис. 1) і встановлена їх подібність. Це дало змогу у подальшому проаналізувати умови стружкозавивання і встановити оптимальні розміри



передньої поверхні різців із одинарною стружколомною канавкою (рис. 2) та подвійною (рис. 3).

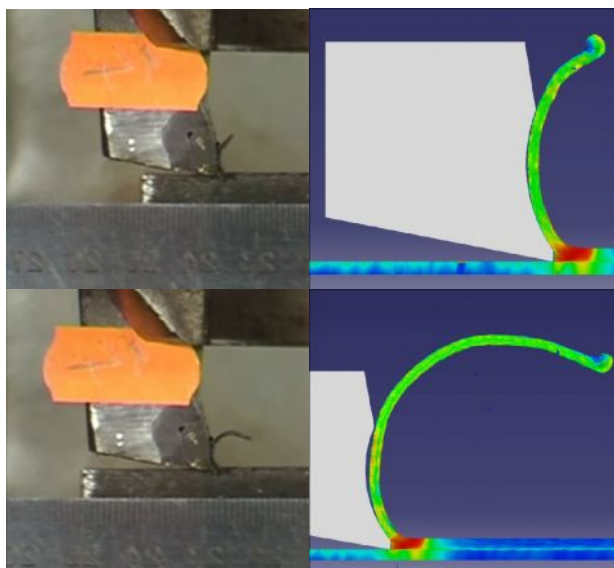


Рис. 1. Порівняння завивання стружки у експерименті та при моделюванні

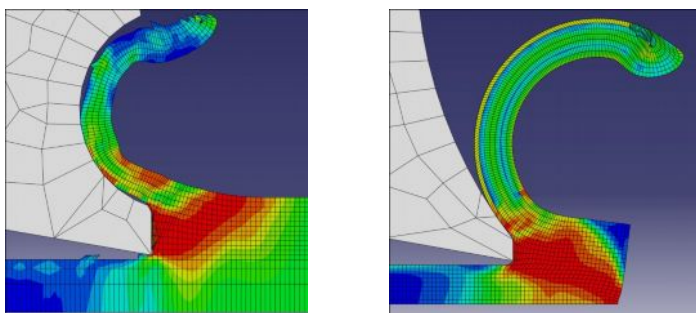


Рис. 2. Отримані в результаті моделювання оптимальний радіус і довжина фаски для заданих умов оброблення

Але у результаті досліджень було встановлено, що контакт на задньої поверхні інструмента з заготовкою

моделюється неякісно або взагалі відсутній (рис. 4). Є декілька причин, що спричиняють дане явище, серед яких найбільш важливим є видалення скінченних елементів по лінії зрізу, недостатньо малий розмір скінченних елементів, невірно задана модель. Видалення скінченних елементів є наслідком роботи алгоритму розділення матеріалу та надмірного спотворення елементів. Тобто видаляються ті елементи, в яких напруження або деформація перевищила гранично допустиму або ті, які надмірно спотворились. У результаті такого явища втрачаються елементи в найбільш напружених зонах. З рис. 4 видно, що при моделюванні процесу різання у програмах Abaqus та LS-DYNA заготовка не контактує з різальним лезом по задній поверхні.

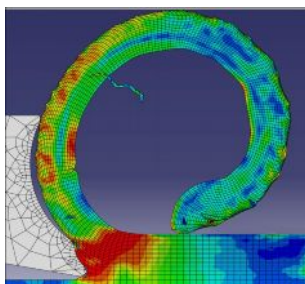


Рис. 3. Згинання стружки при обробленні лезом з подвійною стружколомною канавкою (товщина зрізуваного шару 0,7 мм)

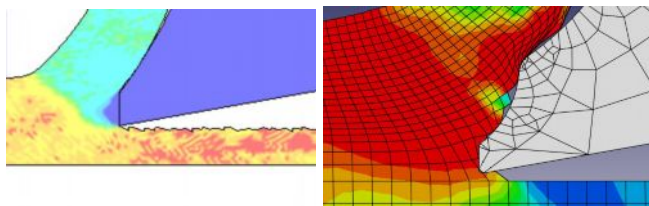


Рис. 4. Контакт змодельований у LS-DYNA та Abaqus відповідно

По вищезазначеній причині адекватно змодельовати вдавалось лише процеси, що відбуваються на передній поверхні інструмента, що в свою чергу виключає можливість прогнозування сили різання, сили тертя, процесів зношування на задній поверхні, пружну деформацію поверхні різання та інші.

Напруження на задній поверхні в більшій мірі є результатом її контакту (підминання) з заготовкою. Також частина напружень передається від контакту передньої поверхні леза з стружкою. Тому важливо змодельовати процеси, що відбуваються на задній поверхні інструмента в комплексі із явищами на передній поверхні інструмента.

Мінімізувати вплив видалення скінченних елементів можна шляхом зменшення розміру скінченних елементів та задання різних умов руйнування і властивостей матеріалу навколо лінії зрізу. Це дасть можливість встановити контакт задньої поверхні інструмента із заготовкою під час моделювання та змодельовати процес деформації матеріалу задньою поверхнею.

У подальшій роботі планується розробити скінченно-елементну модель, для моделювання контакту задньої поверхні інструмента з заготовкою. На основі розробленої моделі планується створити методiku для прогнозування явищ зношування інструмента по задній поверхні та деформації заготовки під задньою поверхнею.

### **Література:**

1. М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов. Основи теорії різання матеріалів – Львів: Новий світ-2000, 2010. – 422 с.

2. Криворучко Д.В., Залога В.А., «3D моделирование рабочих процессов резания методом конечных элементов», Сумы 2008. -326с.

3. Бобров В.Ф. «Основы теории резания металлов».- М.:Машиностроение,1975 .- 344с.

4. Abaqus Analysis User's Manual, 2009.-3987с.

## **ВІБРОАКУСТИЧНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ НА ЕТАПАХ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

В. І. Марчук, д.т.н., проф., Г. В. Клепацький, асп.  
Луцький національний технічний університет, Луцьк

Головною причиною виникнення шумів в підшипниках кочення являються відхилення від ідеальної геометричної форми робочих поверхонь кілець підшипників та тіл кочення. Встановлено, що більше впливають на вібрації активні елементи підшипника. Якщо обертальне кільце обертається тоді точність його геометричних форм та тіл кочення мають вирішальне значення. Коливання кілець підшипників слід ділити на 3 групи :

1. Коливання з великою довжиною хвилі (до 10 коливань за один оберт кільця). Такі коливання виникають через радіальне биття кілець підшипників, які сягають 15 мкм.

2. Коливання з середньою довжиною хвилі (10-60 за один оберт кільця). Причина цих коливань хвилястість на доріжках кочення. Амплітуда цих коливань не більше 1 мкм.

3. Коливання з малою довжиною хвилі (більше 60 коливань за один оберт кільця). Причина цих коливань являються мікронерівності з амплітудою до 0,1 мкм.

Зі збільшенням хвилястості зовнішніх кілець рівень шуму роликпідшипників підвищується. Наприклад, з зменшенням хвилястості кілець від 0,2 до 0,05 мкм рівень шуму знижується на 14 дБ. В більший мірі на рівень шуму впливає хвилястість внутрішніх кілець, а саме із зменшенням хвилястості від 2,2 до 0,05 мкм рівень шуму знижується на 20 дБ. Теж саме стосується хвилястості

роликів, зменшення хвилястості від 2,0 до 0,05 мкм рівень шуму знижується на 11 дБ.

Цікавим є те, що максимуми інтенсивності частотних спектрів знаходяться на частоті 600 – 700, 1400 – 1500, та 7200 Гц, а найбільше зменшення шуму виникає в високочастотній області спектру (від 1000 до 10000 Гц), а в низькочастотній області зміна не проявляється, а спектри частот у всіх підшипниках на до 150 Гц співпадають.

Складальні шуми в роликотпдшипниках виникають в основному із вiбрацiї внутрiшнього кiльця. Вiдповiдно причиною виникнення звукового тиску складальних шумiв є торкання роликiв з внутрiшнiм кiльцем.

Описана вище класифiкацiя вимiрювання шумiв та пов'язаних з ними вiбрацiй покладена в основу розробленої методики визначення виробничих дефектiв деталей пiдшипникiв на стадiї їх виготовлення та експлуатацiї.

Дослiдження та аналiз процесiв, що проходять в пiдшипникових вузлах, необхiднi для вирiшення важливої задачі пiдвищення якостi , надiйностi та експлуатацiйних характеристик пiдшипникiв та їх деталей, визначення при знакiв та методiв дiагностики пiдшипникiв та пiдшипникових вузлiв.

## **ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ТОЧНОСТІ ПРОЦЕСУ ТОРЦЕШЛІФУВАННЯ ЗА РАХУНОК ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА**

В. І. Марчук, д.т.н., проф., В. В. Пташенчук, асп.  
Луцький національний технічний університет, Луцьк

Досягнення одночасного ефекту підвищення продуктивності, економічності, точності виготовлення

роликотидшипників та якості поверхневих шарів килець є пріоритетним напрямом сучасного машинобудування.

До торцевих поверхонь килець підшипників після надходження з цехів заготівельного виробництва та термічного оброблення в процесі механообробки ставляться високі вимоги стосовно шорсткості ( $Ra=1,25 - 0,63$  мкм), паралельності, площинності та перпендикулярності в межах допуску  $8 - 12$  мкм. Це пояснюється тим, що торцеві поверхні є базовими на подальших операція безцентрового шліфування доріжок кочення і в значній мірі визначають клас точності підшипника.

Шліфування торців килець роликотидшипників суцільним шліфувальним кругом прямого профілю на двосторонніх торцешліфувальних автоматах типу СА-3М, які використовуються в підшипниковому виробництві та на ВАТ „Луцький підшипниковий завод“, що в складі корпорації SKF (Гетебор – Швеція) зокрема, є малопродуктивним способом внаслідок підвищеного зношення абразиву, припалювань поверхневих шарів, значної витрати змащувально – охолоджувальної рідини ( $350 - 400$  л/хв.) та появи теплових деформацій вузлів верстата, що відбивається на точності форми деталей.

Традиційно, задачі підвищення якості оброблення вирішуються за рахунок зниження технологічних режимів процесу, що є малоефективним, оскільки призводить до зростання машинного часу на виготовлення одиниці продукції та зниження продуктивності. Набагато ефективніше використовувати більш прогресивні методи оброблення, для чого необхідно знати їхні технологічні можливості на основі представлення фізичних та технологічних параметрів. Усе це вимагає обґрунтування технологічних закономірностей формування параметрів якості при абразивному обробленні з урахуванням температурного фактора, що дозволить зробити вибір

раціональної структури різального інструмента та параметрів операції. Підвищити продуктивність процесу та забезпечити стабільні якісні показники поверхонь деталей можливо шляхом проведення переривчастого шліфування переривчастими, комбінованими та композиційними кругами, що дасть можливість знизити теплонапруженість оброблюваних поверхонь та проводити оброблення на більш високих швидкостях. З врахуванням особливостей процесу шліфування та правильно підібраними конструктивно-геометричними параметрами різального інструмента можливо досягнути підвищення продуктивності за рахунок розширення технологічних можливостей процесу, підвищення періоду стійкості та стабілізації різальної здатності абразиву, уникнути появи припалювань.

Забезпечення точності та підвищення продуктивності процесу торцешліфування кілець роликотіпників можливо за рахунок проведення переривчастого шліфування та раціонально підібраних режимів процесу різання, залежно від конструктивно-геометричних особливостей різального інструмента, форми та розмірів деталей.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ НА ФОРМУВАННЯ МІКРОНЕРІВНОСТЕЙ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ**

В. І. Марчук, д.т.н., проф., В. Д. Чалий, асп.,

В. В. Мережа, магістрант

Луцький національний технічний університет, Луцьк

Для підвищення ефективності операцій механічної обробки деталей підшипників, а також забезпечення

необхідної якості робочих поверхонь кілець в умовах автоматизованого переналагоджуваного виробництва, необхідно розробити нові ефективніші методи проектування та керування технологічними процесами виготовлення окремих деталей підшипників в цілому та кілець підшипників, зокрема. Тому, тема статті є актуальною й спрямована на розв'язання важливої науково-технічної задачі технологічного забезпечення якості формоутворення оптимальних параметрів мікрорельєфу робочих поверхонь кілець та експлуатаційних властивостей роликотітшипників в умовах автоматизованого переналагоджувального тітшипникового виробництва.

Для забезпечення необхідних значень експлуатаційних показників деталей роликотітшипників підчас механічної обробки потрібно сформува-ти певну сукупність геометричних та фізико-механічних параметрів якості їх поверхонь. Серед цих параметрів особлива увага завжди приділялася параметрам шорсткості робочих поверхонь кілець роликотітшипників. У зв'язку з цим в даній роботі приведені результати дослідження по встановленню взаємозв'язку параметрів шорсткості робочих поверхонь кілець з умовами їх шліфування.

Дослідження впливу різних факторів на розподіл зерен й шорсткість обробленої робочої поверхні кілець роликотітшипників проводилося на прикладі врізного безцентрового шліфування на жорстких опорах кругом з білого електрокорунду на керамічній зв'язці різної твердості.

Розрахунки зміни розподілу зерен проведені на ЕОМ за допомогою створеної програми на основі розробленої теоретично-ймовірнісної моделі формування робочої поверхні абразивного інструмента.

Для визначення шорсткості поверхні взята модель, розроблена Новосьоловим Ю.К. Використавши дану



моделлю, було проведено дослідження впливу швидкості круга, швидкості деталі, глибини різання, діаметра круга на параметр  $Ra$ .

Проведені дослідження дозволяють якісно описати причини зміни шорсткості робочих поверхонь кілець роликотідишипників під час врізного безцентрового шліфування залежно від різних факторів з урахуванням зміни числа вершин, що зношуються на різній глибині, ймовірності контакту й переміщення вершин у результаті стирання, сколювання та виривання.

На основі результатів досліджень розроблена інженерна методика технологічного проектування формоутворюючих операцій механічної обробки та керування геометричною структурою робочих поверхонь кілець, яка дозволяє підвищити ефективність шліфувальних операцій, стабілізувати параметри мікротопографії поверхонь і забезпечити необхідні експлуатаційні характеристики роликотідишипників.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ПОДЖИМА КОМБИНИРОВАННОГО ОБРАЗЦА К РЕЖУЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КРУГА, ОГРАНИЧЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ПЛАВЛЕНИЯ ПРИПОЯ**

П. Г. Матюха, д.т.н., проф., А. В. Бурдин, асп.  
Донецкий национальный технический университет,  
Донецк

При плоском врезном шлифовании по упругой схеме одним из основных режимов обработки, влияющим на выходные показатели процесса, является сила поджима образца к рабочей поверхности круга (РПК). Она определяет условия работы круга и физико-механические

свойства обработанной поверхности, в связи с чем, температура на обработанной поверхности накладывает ограничение на значение силы поджима образца к РПК.

В случае обработки комбинированного образца, в зоне резания одновременно находятся материалы, механические и теплофизические свойства которых существенно отличаются. В связи с этим, при расчете силы поджима образца к РПК, ограниченной температурой на обрабатываемой поверхности, воспользуемся следующими допущениями:

1. Температура на поверхности наиболее труднообрабатываемого компонента образца равна температуре плавления припоя.

2. Поверхности соприкосновения компонентов образца, являются адиабатическими, что вносит погрешность в расчет не более 0,06 %.

При врезном шлифовании по упругой схеме комбинированного образца «конструкционная сталь – твердый сплав» соединенных припоем, значение силы поджима к РПК, ограниченной температурой плавления припоя, определяется по зависимости

$$P_{П\text{ нл}} = P_{y\text{ TC нл}} + P_{y\text{ CT}}$$

где  $P_{y\text{ TC нл}}$  – сила поджима образца к РПК, ограниченная температурой плавления припоя, Н;  $P_{y\text{ CT}}$  – радиальная сила резания на стальной части образца при одинаковых с твердым сплавом режимах, Н, определяемые по формулам:

$$P_{y\text{ TC нл}} = \frac{[T_{\text{нл}} - 293] \cdot \lambda_{\text{TC}} \cdot V_{\delta} \cdot L \cdot b_{\text{TC}} \cdot \sqrt{\pi} \cdot 10^{-6}}{4 \cdot a_{\text{TC}} \cdot 60 \cdot V_{\kappa} \cdot \sqrt{H_{\text{TC}}} \cdot \alpha_{\text{б TC}} \cdot k_{\text{ш TC}}};$$

$$P_{y\text{ CT}} = \left( \frac{\sqrt{1 + M^2} \cdot a_z \cdot \sin \alpha}{\sin \beta} + \kappa_3 \cdot M \cdot l_3 \right) \cdot b_{\text{CT}} \cdot z_p \cdot \left( C \cdot \frac{4 \cdot a_{\text{CT}} \cdot \alpha \cdot V_{\kappa} \cdot \sqrt{H_{\text{CT}}} \cdot \alpha_{\text{б CT}}}{\sqrt{\pi} \cdot \lambda_{\text{CT}} \cdot V_{\delta} \cdot S_{\text{CT}}} \cdot P_{z\text{CT}} \right);$$

$$P_{zCT} = \frac{\left( \frac{\sqrt{1+M^2} \cdot a_z \cdot \cos\omega}{\sin\beta} + \kappa_3 \cdot M \cdot \mu \cdot l_3 \right) \cdot b \cdot z_p \cdot C}{1 + \left( \frac{\sqrt{1+M^2} \cdot a_z \cdot \cos\omega}{\sin\beta} + \kappa_3 \cdot M \cdot \mu \cdot l_z \right) \cdot b \cdot z_p \cdot \frac{4 \cdot a \cdot \alpha \cdot V_k \cdot \sqrt{H} \cdot \alpha_6}{\sqrt{\pi} \cdot \lambda \cdot V_o \cdot S}}$$

Расчет силы поджима комбинированного образца «сталь 45 – ВК8» с шириной компонентов 7 мм к РПК при плоском врезном шлифовании кругом 1А1 250х76х15х5 АС6 100/80-4 М2-01, ограниченного температурой начала плавления припоя марки Л63 ( $T_{nl}=1173$  °К), на режимах  $V_k=35$  м/с,  $V_o=6$  м/мин,  $t=0,015$  мм, выполнен по разработанной программе в среде Mathcad, позволил установить, что

$$P_{yCT} = 22,8 \text{ (Н)}, \quad P_{yTCnl} = 108,8 \text{ (Н)}, \quad P_{Пnl} = 131,6 \text{ (Н)}.$$

Разработанная методика расчета силы поджима комбинированного образца к РПК, ограниченной температурой плавления припоя, в дальнейшем будет использована в качестве технического ограничения при определении лимитированной силы поджима образца к РПК при шлифовании по упругой схеме.

## ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОБРОБКИ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ

В. Є. Мельник, О. В. Соловей, К. І. Хмельницька  
Інститут надтвердих матеріалів НАН України, Київ

Традиційна технологія виробництва алмазно-абразивних інструментів заснована на виготовленні дорогих і трудомістких прес-форм значно ускладнює і збільшує час виготовлення дослідних зразків

складнопрофільних інструментів. Селективне лазерне спікання виробів з порошкових сумішей на установці Vanguard Si2 SLS забезпечує прямий перехід від віртуального електронного образу виробу до реального твердотілого і здійснюється без виготовлення оснащення.

Метою роботи є створення нового інструмента для механічної обробки деталей типу зрізаної кулі. Означене завдання вирішується у шліфувально-полірувальному інструменті, що містить корпус 1 та робочий абразивовмісний шар 2, який виконаний у вигляді стільникової структури з наскрізними отворами 3 циліндричної форми, діаметр яких  $D$  складає  $1,0 \dots 2,0$  мм і відстань між отворами  $a$  -  $1,0 \dots 2,0$  мм, при цьому отвори розташовані рівномірно по об'єму шару, що містить абразив.

Інструмент підводиться до оброблювальної сферичної поверхні деталі 4, яка закріплюється в шпинделі верстату під кутом  $\alpha$ . В результаті контакту деталі з поверхнею інструмента, останній починає обертатись. За рахунок різності швидкості ковзання в точках контакту інструмента з оброблювальною поверхнею, відбувається обробка поверхні деталі 4, див. рисунок.

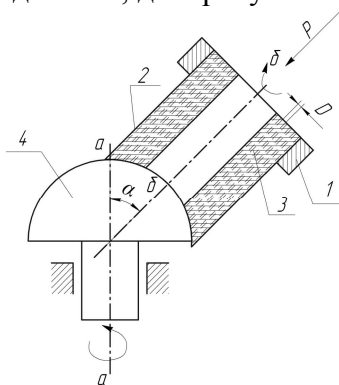


Рис. Схема обробки сферичної поверхні

Виконання робочого шару, що містить абразив, у вигляді стільникової структури забезпечує переривчастий контакт абразиву з поверхнею, що обробляється. Це дозволяє значно знизити температуру поверхні деталі, та уникнути припікання. Через наскрізні отвори абразивовмісного шару відводяться продукти шламу, що дозволяє уникнути подряпин поверхні. Такий інструмент також може працювати «всуху» тобто без змащувально-охолоджувальної рідини, що покращує екологію при обробці.

Випробування конструкції шліфувально-полірувального інструмента, показало позитивні результати в порівнянні з прототипом: при обробці сферичної поверхні деталі із титану шліфувально-полірувального інструмента на поверхні деталі були відсутні подряпини від шламу та припікання.

Виготовлення робочого абразивного шару традиційним способом за допомогою пресування практично неможливо, тому такий шар був виготовлений на установці методом селективного лазерного спікання порошкових матеріалів.

## **СИСТЕМА ФІЛЬТРАЦІЇ ПРИТОЧНОГО ПОВІТРЯ В ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕННЯХ ПРЕЦИЗІЙНОГО СКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Ю. Г. Мережаний, асист., В. С. Антонюк, д.т.н., проф.  
Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”, Київ

Одним з важливих факторів, що впливає на якість кінцевої продукції прецизійного складального виробництва, є запилення зовнішнього повітря, яке

нагнітається у виробничі приміщеннях цехів. Ця проблема є традиційно актуальною не тільки для електронної галузі, але і, наприклад, для прецизійних приладів систем навігації та орієнтації. Відомо, що похибки при складанні й регулюванні гіроскопічних приладів суттєво впливають на їх подальшу точність та надійність, і чистота повітря в складальному цеху тут відіграє важливу роль.

Для забезпечення точності складання гіроскопічних приладів в цехах використовують системи фільтрації приточного повітря, які умовно можна поділити на два типи: підсистеми «комфортного» і підсистеми «прецизійного» типу.

Підсистеми комфортного типу призначені для забезпечення життєдіяльності людей (робітників) і обумовлені санітарно-гігієнічними вимогами.

Підсистеми прецизійного типу призначені для створення оптимальних параметрів повітряного середовища, що забезпечують високу надійність роботи технологічного обладнання та якість продукції, що випускається. Прецизійні системи повинні здійснювати моніторинг встановлених параметрів, постійну діагностику стану мікрокліматичних параметрів середовища, більшу продуктивність по повітрю (у порівнянні з комфортними системами), і можливість застосування допоміжного або резервного обладнання.

Для забезпечення підтримки заданої чистоти повітря запропоновано систему очищення приточного повітря в промислових приміщеннях, яка дозволяє контролювати потік повітря, ступень засміченості повітряного фільтра, і забезпечує очищення приточного повітря в приміщеннях складальних цехів, у яких, згідно з технологічним процесом, необхідно дотримувати жорстких вимог щодо вимог вентилявання та очищення повітря.

Система очищення повітря вентиляції передбачає встановлення часового інтервалу за допомогою внутрішнього таймера. Мікропроцесорний блок контролює

потік повітря, який нагнітається вентилятором і ступінь засміченості повітряного фільтра.

Використання в виробничих приміщеннях прицевійного складального виробництва запропонованої системи фільтрації приточного повітря з аналізом ступеня засміченості повітряного фільтра дозволяє забезпечити необхідний мікроклімат у виробничих приміщеннях складального виробництва, що дає можливість підвищити якість складання й регулювання прецизійних приладів систем навігації та орієнтації.

## **ОСОБЕННОСТИ НАЗНАЧЕНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ГРАВИРОВАНИИ**

Д. А. Миненко, к.т.н., асист., Я. Ю. Николаев  
Сумский государственный университет, Сумы

Наиболее универсальным и производительным способом для изготовления клише, штампов, матриц является механическая гравировка, осуществляемая на фрезерно-гравировальных станках. Материалы, из которых изготавливают клише, очень разнообразны: от мягких силиконовых материалов (твердость по Шору 70–90 ед.) до конструкционных сталей (твердостью НВ 180–200 ед.)

Широкие диапазоны частоты вращения и подачи, применяемые на гравировальном оборудовании (частота вращения шпинделя 8000–30000 об/мин, подача 1–15 мм/сек), а также большое разнообразие геометрии граверов, делает затруднительным назначение режимов обработки и подбор соответствующего инструмента при работе с определенным материалом. Значительное затруднение при обработке граверами заготовок из металла заключается в том, что используются малые

глубины резания (0,05–0,2 мм), в связи с чем идет интенсивный износ по вершине режущего инструмента, что приводит к значительному уменьшению периода стойкости инструмента. Зачастую при обработке больших поверхностей на таких материалах как сталь, бронза, латунь, стойкости гравера не хватает для обработки одной детали. Например, при обработке стальных клише из материала Ст3 стойкость гравера, в некоторых случаях, недостаточна для того, чтобы получить необходимую глубину гравировки. На данном этапе требуемую глубину гравировки получают с использованием нескольких граверов, что существенно снижает производительность обработки, качество изделия и повышает стоимость обработки.

Проведенный анализ отечественной литературы, связанной с гравировальной обработкой, показал, что режимы резания, применяемые на оборудовании прошлых лет, рассчитаны преимущественно для инструментов из быстрорежущих сталей и некоторых марок твердого сплава. Рекомендации по режимам резания даны для оборудования, которое не обеспечивает высокую частоту вращения и уровни подач, что в свою очередь не позволяет добиться высокой производительности работы.

Анализ современных источников, предоставляемых фирмами-производителями граверов, показал, что не существует единых норм режимов резания для гравировальных роботов. Производители гравировального инструмента предлагают таблицы выбора режимов резания, которые носят рекомендательный характер и имеют ряд существенных недостатков. К примеру, они не затрагивают вопрос качества обработанной поверхности (шероховатость, волнистость). Использование данных рекомендаций на практике показало, что при обработке



алюминиевого сплава встречается оплавление стружки, что приводит к ухудшению качества обработанной поверхности, забиванию прорезаемых канавок. Удаление такой стружки с поверхности детали весьма затруднительно.

Таким образом, основной задачей исследования является разработка рекомендаций по выбору геометрии режущего инструмента и режимов резания при гравировальной обработке.

## **ВПЛИВ ДИНАМІЧНИХ ПОХИБОК НА ТОЧНІСТЬ СИСТЕМ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ**

В. Т. Михалевич, к.т.н., А. Ю. Решетило, І. В. Дем'янова  
Луцький національний технічний університет, Луцьк

Для діаметральних вимірювань у системах активного контролю розмірів деталей на операціях шліфування широко використовуються двохконтактні первинні вимірювальні перетворювачі. Безсумнівна перевага за рядом експлуатаційних характеристик над системами підналагодження та одноконтактними перетворювачами, а саме: безперервний контроль поточного розміру, прямі вимірювання діаметра, а не радіусу, ігнорування впливу ряду зовнішніх чинників, що спричиняють похибки вимірювання, значне зниження впливу вібрацій на точність вимірювання, надають значні переваги у їх використанні.

Такі прилади можна розділити на прилади з однією двохконтактною вимірювальною головкою, у якій немає необхідності у додаванні сигналів, оскільки давач розміру один, та на прилади з двома одноконтактними

вимірювальними головками, кожна з яких має свій давач, сигнали яких додаються.

Прилади з двома вимірювальними головками отримали широке використання оскільки мають порівняно просту конструкцію самих головок, дозволяють контролювати деталі у великому діапазоні розмірів та легко переходити від контролю розмірів внутрішніх поверхонь до контролю зовнішніх. Але у цих приладів можуть виникнути похибки, які можна назвати динамічною похибкою додавання сигналів.

Для визначення динамічної похибки в умовах, близьких до виробничих, використано шліфувальний верстат, на якому встановлено спеціальну оправку, що утримує зразкову овальну деталь або мірний конус, та шайбу, яку шліфують під час циклу контролю. На зразкову деталь встановлено вимірювальні наконечники. Під час перевірки зразок імітує зміну розміру деталі під час шліфування. В момент рівності сигналу вимірювання та встановленої опорної напруги, що поступає на пороговий пристрій, прилад видає команду, який припиняє обертання зразкової деталі.

Похибка видачі команди визначена за показами приладів, встановлених на зразковій деталі.

В основі методу визначення впливу окремих чинників, що супроводжують процес шліфування, на динамічну похибку систем активного контролю безпосередньо у цехових умовах, лежить імітація зміни сигналу розміру шляхом подачі у нуль-орган систему каліброваного лінійного сигналу. На другий вхід нуль-органу поступає сигнал з давача, і цей сигнал включає тільки інформацію про динамічну похибку.

Таким чином використання двох вимірюючих перетворювачів з наступним додаванням сигналів у системах активного дозволило з високою ймовірністю визначити появу випадкових похибок і відповідно підвищити точність вимірювання в процесі механічної обробки деталей.

## **СТЕНД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ ЗАТИСКУ ІНСТРУМЕНТА (ДЕТАЛІ) САМОГАЛЬМУЮЧОЮ ЗАТИСКНОЮ ВТУЛКОЮ**

В. В.Музиченко, студ., М. А. Новік, доц.  
Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”, Київ

В наш час вітчизняні і закордонні фірми приділяють значну увагу створенню механічних та гідромеханічних затискних патронів з великою силою затиску і малими габаритними розмірами. Створення компактних гідромеханічних затискних патронів дозволяє значно підвищити швидкість різання до 60 м/с. При цьому оберти шпинделів для забезпечення таких швидкостей різання необхідно підвищувати до 100тис. об/хв. З підвищенням обертів шпинделя збільшується величина відцентрової сили неврівноваженої маси як шпинделя, так і затискного патрона. Із збільшенням відцентрової сили зменшується і сила затиску інструмента (деталі), що може привести до аварійної ситуації. Тому при розрахунку сили затиску потрібно враховувати як технологічну силу затиску, так і відцентрову силу. При цьому силу затиску патрона доцільно визначати експериментально. На рис. показана схема стенда для визначення сили затиску (крутного моменту) затискного патрона, який виконаний у вигляді само гальмуючої тонкостінної пружної втулки.

Схема складається із корпусу 1, в осьовій розточці якого розміщена тонкостінна затискна втулка 2. У наскрізному пазу 3 втулки 2 розміщений клин 4, який конічною поверхнею контактує з конічною поверхнею втулки 2, а протилежна поверхня контактує з корпусом. Навантаження на клин 4 здійснюється гвинтом 5 (вар.1) або гідроциліндром (вар.2). Сила навантаження на клин 4

вимірюється динамометром 7. В циліндричному отворі затискної втулки 2 розміщено хвостовик оправки 8. Осьове зміщення втулки 2 вимірюється індикатором годинникового типу 9 з ціною поділки 0,2 мкм. Крутний момент між втулкою 2 і хвостовиком оправки визначається за допомогою динамометричного ключа 10.

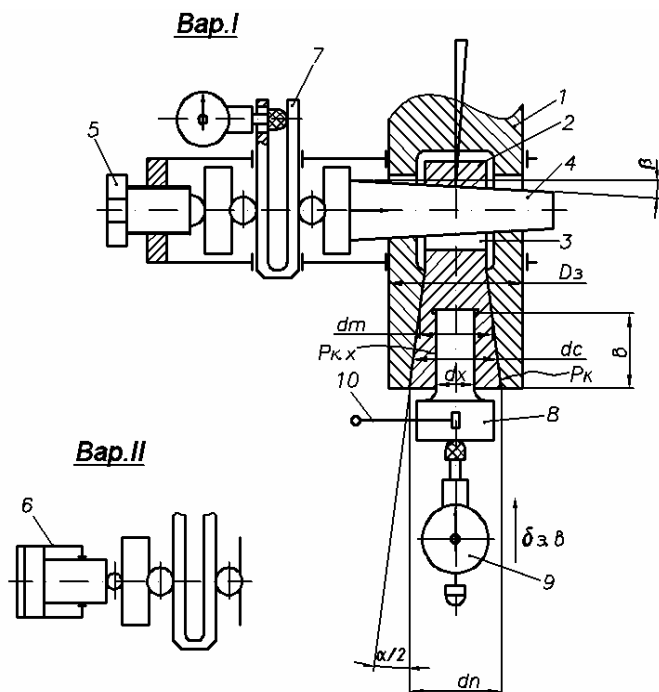


Рис.1. Схема стенда для визначення сили затиску патрона.

В роботі приведені аналітичні залежності для визначення сили затиску і крутного моменту затискного патрона в залежності від величини осьової зтяжки затискної втулки.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РАДИУСА ОКРУГЛЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ МОНОЛИТНЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ**

С. С. Некрасов, асист.

Сумский государственный университет, Сумы

Ресурс концевых фрез ограничивается изнашиванием лезвия, выкрашиванием режущей кромки, которые приводят к изменению поверхности округления режущей кромки, возрастанию силы резания и в, конечном итоге, поломке фрезы. Эти процессы еще больше интенсифицируются при возникновении колебаний в технологической системе. Известные исследования посвящены, в основном, оптимизации геометрии концевых фрез, не учитывая при этом качество и геометрические параметры поверхности округления режущей кромки в силу чрезвычайной сложности управления и контроля этими факторами.

Математическое моделирование процесса резания с использованием численных методов позволило изучить влияние состояния режущей кромки на механизмы отказа концевых фрез. В качестве главного геометрического параметра, характеризующего состояние режущей кромки был принят радиус ее округления.

Основным показателем, характеризующим ресурс инструмента является усталостная прочность режущего лезвия, обуславливающая интенсивность выкрашиваний режущей кромки. В работе были рассчитаны поля напряжений, температур и критерий разрушения инструментального материала с учетом воздействия температуры. Эти данные позволили рассчитать количество циклов нагружения до наступления

разрушения режущей кромки при различных радиусах ее округления.

Полученные результаты показали, что радиус округления режущей кромки в процессе фрезерования ступенчато увеличивается в результате выкрашивания режущей кромки, приводя к непрерывному увеличению силы резания. Количество циклов до очередного выкрашивания зависит от радиуса округления режущей кромки. Это обуславливает зависимость ресурса концевых фрез от радиуса округления их режущих кромок. Разработанная модель позволила установить, что при фрезеровании монолитной твердосплавной фрезой диаметром 16 мм пазов в отливках из стали 12Х18Н12МЗТЛ, рекомендуемым радиусом округления режущей кромки, обеспечивающим максимальный ресурс, является радиус близкий к 20 мкм.

## **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ НАСТРОЙКИ ФРЕЗ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

А. А. Нешта, магистрант, П. В. Кушников, к.т.н., доц.  
Сумский государственный университет, Сумы

Повышение точности настройки торцовых фрез для обработки заготовок с плоскими поверхностями, представляет собой актуальную задачу, поскольку от этого напрямую зависит качество обработки и стойкость режущего инструмента.

Применяемые на предприятиях торцовые фрезы, в частности, с механическим креплением многогранных неперетачиваемых пластин, в большинстве случаев не имеют возможности дополнительной настройки положения режущих элементов. При этом величина

радиального или торцового биения режущих кромок определяется точностью изготовления режущих пластин и точностью изготовления корпуса инструмента. Такое конструктивное решение упрощает изготовление инструмента, позволяет снизить время на смену режущих элементов.

Однако при чистовой и прецизионной обработке желательно минимизировать значения биений режущих кромок, что позволит повысить качество обработки.

Это может быть достигнуто использованием специальных кассет или режущих вставок, которые имеют возможность регулировки положения относительно корпуса инструмента.

Наиболее технологичными с точки зрения изготовления и эксплуатации являются цилиндрические режущие вставки, имеющие различные способы регулировки положения и закрепления. Так, в торцовой фрезе режущую вставку могут устанавливать в отверстие корпуса по посадке с зазором. После осуществления регулировки положения вставки путем перемещения ее вдоль оси отверстия осуществляют закрепление вставки с помощью винта и гидропластмассы.

Возможность регулировки положения режущих вставок предусмотрена во фрезе, плоская лыска которой содержит два наклонных участка с углом наклона меньшим угла трения. Указанные участки взаимодействуют с регулирующим элементом, а зажимный винт установлен со стороны, противоположной расположению регулирующего элемента. Такая компоновка узла крепления не позволяет вставке после осуществления закрепления совершать осевые перемещения, повышая надежность всего инструмента.

Регулирование величины осевого вылета режущей вставки часто производят с помощью внешнего регулировочного рычага, один из концов которого опирается о поверхность отверстия во вставке, а другой – о поверхность корпуса фрезы.

С целью уменьшения трудоемкости изготовления инструмента предложена торцовая фреза, в которой при регулировке один из концов рычага опирается о поверхность отверстия не в корпусе, а в самом винте. Для повышения удобства регулировки положения режущей вставки специальные отверстия корпуса, предназначенные для взаимодействия с рычагом, выполняют сквозными.

Таким образом, рассматриваемые конструкции торцовых фрез позволяют производить регулировку положения режущих вставок относительно корпуса инструмента, что в свою очередь ведет к снижению радиального и торцового биения режущих элементов, к повышению качества обрабатываемых поверхностей.

## **ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ПОЛОЖЕННЯ УТРИМУВАНОЇ ДЕТАЛІ В ЗАХВАТНОМУ ПРИСТРОЇ РОБОТА**

І. І. Павленко, д.т.н., проф., М. О. Годунко, асп.  
Кіровоградський національний технічний університет,  
Кіровоград

Промислові роботи – це складні технічні системи, основне функціональне призначення яких полягає в забезпеченні необхідних рухів їх виконуючих механізмів, що потрібно для здійснення різних технологічних операцій, а також допоміжних переходів.



Захватні пристрої роботів з обертовими затискними важелями та призматичними затискними елементами забезпечують утримування деталей різних розмірів, що, при значній простоті конструкції, є суттєвою їх перевагою. Разом з тим таке виконання захватів призводить до того, що утримування деталей різних діаметрів здійснюється при різному положенні їх центрів. Це може бути значним недоліком, наприклад при реалізації роботом завантаження та розвантаження металорізальних верстатів. В даному випадку робот встановлює на верстат заготовку одного діаметра, а після її обробки повинен знімати з верстата деталь іншого діаметра. Подібна умова може мати місце при виконанні роботом складальних операцій, де на одну і ту ж позицію з тими ж координатами послідовно встановлюється, наприклад, втулка одного діаметра, а потім необхідно встановлення в неї вала іншого діаметра.

Така зміна положення центра деталей в захваті робота відбувається за рахунок того, що деталі різних діаметрів контактують з бічними поверхнями затискних призм в різних точках, а це в свою чергу, забезпечується обертотворним рухом затискних важелів.

Для визначення зміщення центра утримуваних деталей за вихідне положення приймемо положення центра утримуваної деталі номінального діаметра, коли вершини затискних призм знаходяться в одній площині з віссю деталі.

Збільшення діаметра вимагає більшого відхилення затискного важеля на кут  $\varphi_{\delta}$ , що призводить до зміщення центру утримуваної деталі. Діаметр деталі при цих умовах визначається:

$$D_{\delta} = 2[a + L \sin(\omega_{\delta})] \cdot \frac{\sin \alpha / 2}{\cos \varphi_{\delta}}$$

Величина зміщення центру утримуваної деталі при переході від деталі номінального діаметра до  $D_{\delta}$  буде:

$$\Delta_{\dot{a}} = L(\cos \omega_{\dot{a}} - \cos \omega_j) + (\dot{a} + L \sin \omega_{\dot{a}}) \operatorname{tg} \varphi_{\dot{a}}$$

Загальний висновок полягає в тому, що величина таких зміщень центрів утримуваних деталей досить велика, що принципово важливо для забезпечення нормальних умов виконання роботом тих чи інших операцій. Так уже при зміщенні затискних важелів на  $4^\circ$  від їх вихідного положення призводить до зміщення центрів деталей на величину від 1мм до 4.5мм, для розглянутих конструктивних параметрів пристроїв. Збільшення кута  $\varphi$  до  $20^\circ$  забезпечує зростання цієї відстані до 5 ... 20мм. Найбільш інтенсивно це зростання характеризується при кутах  $\varphi$  більше  $10...12^\circ$ .

В цілому, виконані дослідження підтверджують наявність значних зміщень центру утримуваних деталей при зміні їх діаметрів та дають можливість оцінити вплив основних конструктивних параметрів захватних пристроїв на ці зміщення, а відповідно вибирати кращі їх значення для конкретних умов експлуатації роботів і їх захватних пристроїв.

## **АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

А. Е. Проволоцкий, д.т.н., проф., П. С. Лапшин, асп.  
Национальная металлургическая академия Украины,  
Днепропетровск

Ремонт деталей в машиностроении является важным фактором. Известно, что снятие старых лакокрасочный покрытий с поверхности корпусов машин и деталей при их ремонте, а также нагара с деталей двигателей, осуществляется химическими способами с применением специальных растворителей, а ручной труд

составляет большой объем. Такие способы оказывают вредное воздействие на обслуживающий персонал и окружающую среду. Расход дорогостоящих растворителей на Украине составляет несколько тысяч тонн, при этом качество отделки не удовлетворяет техническим условиям на этот вид работ, а поверхностные слои конструкционных материалов подвержены коррозии. Кроме того, требуются значительные затраты для утилизации отходов.

С многих годов отмечается широкая деятельность в поисках механических методов, которые бы послужили заменой классическим химическим растворителям. Некоторые технические способы, включающие струйную обработку водой под давлением, пластмассами, пшеничным крахмалом, литой стальной дробью, стеклянными шариками или двуокисью углерода. На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что сегодня, при наличии выбора по способу удаления лакокрасочных покрытий на деталях, отдать предпочтение тому или иному процессу не так просто, поскольку это тесно связано с конкретными индивидуальными требованиями. Несмотря на это, следует отметить, что для правильного выбора все рассматриваемые технологии должны быть оптимизированы по отношению к их специфическому потреблению энергии. Все механические технологии от нагнетания воды под большим давлением до лазерного съема красок потребляют сравнительно большое количество энергии и затраты на них составляют значительные суммы. Поэтому окончательная оценка наиболее оптимального процесса может быть сделана только после сравнения энергоемкости и капитальных затрат, связанных с расходами на технику.

Струйная обработка и проблемы по применению ее для снятия покрытий. Получившая признание струйная обработка позволяет получать наилучшее качество поверхности перед окраской соответствующее высочайшим стандартам, а также равномерно удалять лакокрасочные покрытия. Стойкость красок лакокрасочного покрытия после предварительной подготовки струйным методом увеличивается примерно в три раза. Однако широкому распространению этого метода препятствует наклеп обрабатываемой поверхности. При полировании обрабатываемых деталей маленькими сферическими или негранеными частицами, поверхностные слои этих деталей испытывают напряжения сжатия и подвергаются пластической деформации. В своих исследованиях мы исходили из того, что полностью избежать нежелательного наклепа при струйной обработке тонколистовых заготовок не удастся. Однако подбирая вышеперечисленные факторы, влияющие на интенсивность наклепа, можно свести эти коробления к таким значениям, при которых происходит релаксация напряжений сжатия, и по прошествии времени искривление заготовок полностью исчезает.

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОМБИНИРОВАННЫХ ПРОЦЕССОВ**

А. Е. Проволоцкий, д.т.н., проф., М. Мохеб  
Национальная металлургическая академия Украины,  
Днепропетровск

Технологический процесс с применением щеточных инструментов, специфика конструкции и работы которых

такая, что наличие смазочного масла играет положительную роль. Работа проволоочки сопровождается шлифованием и гидроабразивным схватыванием рабочих поверхностей инструментов с обрабатываемыми материалами, что приводит к износу инструмента. Уменьшение негативных последствий обоих факторов достигается при резании применением СОЖ.

Главной функцией СОЖ при обработке щеточными инструментами является устранение схватывания материалов проволочками с обрабатываемой деталью, что приводит к износу инструмента. В условиях полирования эффективность обработки существенно повышается при наличии в зоне обработки высокомолекулярных соединений и полимеров.

Наличие смазочного масла на трубах не является преградой при обработке щетками и играет положительную роль. Однако, оно должно быть удалено из поверхности труб. При обработке трубы диаметром 20 мм при толщине пласта смазочного масла лишь 0,1 мм из поверхности трубы должно быть удалено около 12...15 дм/час. Это свидетельствует о наличии задач снятия смазочного масла (или других видов загрязнений) из поверхности, транспортировка ее из зоны обработки, принятие ее с последующей его утилизацией.

Эта задача может быть решена применением СОЖ на водной основе. Это позволяет решать задачи по удалению и улавливанию смазочного масла и др. загрязнений через соответствующие технические устройства.

Эффективность полирования может быть достигнута при высоких оборотах вращения щеточных инструментов. Эффективность полирования достигается также изменением и комбинированием режимов влияния на микронеровности элементарными резцами - гидроабразивами. Этим решается и другая цель -

повышение интенсивности рабочего влияния на полируемую трубу, При использовании щеточного инструмента решаются задачи: радиальное расположение по периметру продольного сечения трубы блока инструментов, возможность компактной компоновки узлов компенсации изнашивания щеточных инструментов и подналадки инструментальных блоков на размер обрабатываемой трубы за счет расположения непосредственно рабочих шпинделей в поворотных подшипниковых корпусах. Малая масса щеток позволяет установить на консольном шпинделе до 5...6 инструментов, который позволяет комбинировать инструменты по технологическим характеристикам и расширить зону обработки одним инструментальным блоком.

Качество очищения от масляных загрязнений может быть повышено введением в состав СОЖ моющих средств (сода и др.), а также применением подогрева СОЖ. Разработанная установка очистки является дополнением к установке полирования, при соответствующем изменении узлов может быть использована в качестве самостоятельного оборудования для очищения длинномерных изделий.

## **ДЕЯКІ ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ЗРІЗУ БАГАТОЗУБИХ ІНСТРУМЕНТІВ**

Н. С. Равська, д.т.н., проф., О. А. Охріменко, к.т.н.,  
Т. В. Забара, студ.

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”, Київ

Задачі проектування та виготовлення  
високоякісного різального інструмента на сучасному етапі

розвитку можуть бути вирішені тільки на базі CAD/CAM/CAE технологій. Проте, практично відсутні системи автоматизованого проектування різних видів різального інструмента, які на стадії проектування враховували б не тільки задані вихідні умови, але і їхню зміну в процесі різання, що є суттєвим резервом підвищення працездатності інструмента.

Однією з основних характеристик, що визначає працездатність інструмента, є товщина зрізуваного шару. Найчастіше у різального інструмента спостерігається нерівномірне завантаження різальної частини, що у свою чергу, призводить до нерівномірного зношування. Разом з швидкістю, схемою зрізання припуску і іншими складовими процесу різання, рівномірність завантаження різальних кромки більшою мірою залежить і від товщини зрізуваного шару [1, 2, 5]. Тому, першочергове завдання по вдосконаленню конструкцій інструментів є визначення товщини зрізуваного шару. При проектуванні інструментів товщина зрізу розглядається різними авторами, найчастіше, стосовно різних видів інструмента, які прив'язані до конструкцій певного інструмента, що визначається в інструментальній системі координат, це значно спрощує задачу визначення товщини зрізу в будь-якій точці різальної кромки. Що є основою вибору схеми зрізуваного припуску та подальшого удосконалення конструкцій різального інструмента.

Особливої уваги при цьому заслуговують багатозубі інструменти, кінематика різання яких складається з декількох рухів, зокрема до таких відносяться різні види фрез, в тому числі і черв'ячні.

В роботі на прикладі циліндричних фрез розглядається, схема визначення товщини зрізуваного шару та формування оброблюваної поверхні.

Встановлено, що сформована багатозубим інструментом поверхня не в кожній точці відповідає умові формоутворення  $\bar{N}\bar{V} = 0$ . Умова формоутворення  $\bar{N}\bar{V} = 0$  виконується тільки в точці  $\varphi_k=0$ , для кожного зуба.

#### **Література:**

1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. - М.: Машиностроение, 1975. - 344 с.
2. Васин С.А. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании / С.А. Васин, А.С. Верещака, В.С. Кушнер. - М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001. - 448 с.
3. Г. Шпура. Справочник по технологии резания материалов / Г. Шпура, Т. Штеферле. Пер. с нем. под ред. Соломенцева Ю.М. - М.: Машиностроение, 1985. - 688 с.
4. Грановский Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. - М.: Высшая школа, 1985 - 304с.
5. Родин П. Р. Металлорежущие инструменты / П.Р. Родин.- К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986.- 455 с.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ-22**

С. М. Резниченко, асп.

Сумский государственный университет, Сумы

Титан технической чистоты и сплавы на его основе широко используются в качестве конструкционных



материалов в авиации и космонавтике, в различных устройствах, работающих при низких температурах, в приборостроении, химической промышленности и медицине. Поэтому проблеме повышения эксплуатационных свойств этих материалов путем формирования заданного структурно-фазового состояния и качества поверхности уделяется большое внимание. Путем создания в титане и его сплавах ультрамелкозернистой структуры методами интенсивной пластической деформации удастся существенно повысить их прочностные характеристики. В технике и медицине наиболее широко используют титан технической чистоты и двухфазный  $\alpha+\beta$  титановый сплав Ti-Al-V.

Наряду с высокими механическими свойствами, титановые сплавы имеют низкую обрабатываемость, которая обусловлена высокой прочностью, низкой теплопроводностью, высокой химической активностью и другими факторами. Один из них сплав ВТ-22 ( $\alpha + \beta$ ) - класса относится к высоколегированным, высокопрочным сплавом. Структура и свойства сплава ВТ-22 сильно зависят от колебания химического состава в пределах, установленных техническими условиями. Его механические свойства такие же, как у сплавов ВТ-6, ВТЗ-1, ВТ-14 после закалки и старения. Сплав ВТ-22 предназначен для получения высоконагруженных деталей и конструкций, длительно работающих при температурах до температур 350-400 °С. Из него изготавливают силовые детали фюзеляжа, крыла, детали системы управления, крепежные элементы и прочее.

Титан технической чистоты является наиболее предпочтительным материалом для длительно работающих в живом организме имплантатов вследствие его высокой биосовместимости и отсутствия вредных легирующих добавок. Повышение эксплуатационных свойств этого

материала возможно путем создания в нем ультрамелкозернистой структуры.

Титан и его сплавы чрезвычайно дорогие конструкционные материалы. Поэтому исследование его обрабатываемости целесообразно выполнять методами математического моделирования процесса резания. Для получения математической модели процесса резания титановых сплавов (точения, фрезерования и т.д.) необходимы количественные данные о физико-термомеханических свойствах материалов объектов системы, которая моделируется, а также о трибологических свойствах пары «обрабатываемый-инструментальный» материалы.

На основе полученных экспериментальных данных об ортогональном резании титанового сплава ВТ-22 (проекция сил резания, коэффициент усадки стружки), об испытаниях на растяжение (сжатие) при различных температурах (от 20 до 600°C), о трибологических испытаниях методом сферического вращающегося индентора с жесткой системой нагружения, а также справочных данных определен комплекс механических и трибологических свойств, необходимых для моделирования процесса резания. Основываясь на этих данных выполнено математическое моделирование процесса резания титанового сплава ВТ-22 твердым сплавом ВК8 в диапазоне режимов резания  $V=6-26$  м/мин;  $S=0,1-0,3$  мм/об при глубине резания  $t=1$  мм. Полученные данные позволили получить численные значения сил резания, коэффициента усадки и установить влияние элементов режимов резания на эти показатели. Дополнительно получены данные о распределении контактных напряжений и температурных полях в лезвии, а также среднем коэффициенте трения на контактной поверхности лезвия.

Полученные данные позволят в дальнейшем определить оптимальные режимы резания и геометрию режущего инструмента, обеспечивающие его наибольший ресурс.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА**

Д. В. Ромашов, Е. А. Бабенко, Д. О. Федоренко  
Национальный технический университет  
“Харьковский политехнический институт”, Харьков

Создание методологических основ и системы 3D-CAD моделирования алмазных композиционных материалов (АКМ) на этапах их изготовления и эксплуатации позволит существенно повысить эффективность их обработки и применения. Предлагаемая 3D методология исследования процессов изготовления и эксплуатации АКМ охватывает все основные этапы жизненного цикла изделия: моделирование процессов изготовления алмазного композиционного инструмента, моделирование процессов заточки инструмента из сверхтвердых материалов (СТМ) путем алмазного шлифования кругами на различных связках, моделирование процесса резания (эксплуатации) инструмента из СТМ (рис.). Таким образом, реализуется идеология полной компьютерной автоматизации моделирования процесса эксплуатации АКМ, что рассматривается как приближение к идеологии CALS-технологий (Computer-Aided Logistics Support).

На этапе изготовления кругов путем моделирования, подбираются оптимальные сочетания компонентов спекаемого слоя и режимов спекания, при

которых обеспечивается сохранение целостности алмазных зерен. [1].

Процесс заточки алмазного лезвийного инструмента сопровождается чрезвычайно высоким удельным расходом алмазных кругов. Поэтому на втором этапе решается проблема повышения коэффициент использования дорогостоящих алмазных зерен [2].

На этапе применения лезвийного инструмента из СТМ решается проблема определения рациональных условия обработки (режимы резания и геометрия инструмента) инструментами из СТМ.

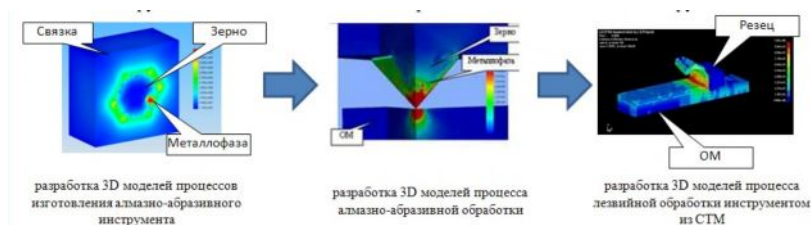


Рис. Концепция модельного определения путей повышения эффективности алмазно-абразивного инструмента

Таким образом, с использованием метода конечных элементов удастся провести полный цикл модельных экспериментов для алмазно-абразивного и лезвийного инструмента и определить пути повышения его эффективности.

### Литература:

1. Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Федорович В.А. 3D моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. - 364с.
2. Frydryšek, K.: Probabilistic Analysis of the Hard Rock Disintegration Process, In: *ActaPolytechnica*, ISSN: 1210-2709, Vol. 48, No. 4, pp.52-59, Prague, CZ, 2008.

## **РОЛЬ ПАТЕНТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ РОЗРОБЛЕННІ НОВОГО ПРОДУКТУ**

М. А. Руденко, асист.

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”, Київ

Основні акценти сучасної економіки в Україні спрямовані на інноваційний розвиток, а саме на творчі, інтелектуальні, наукові надбання та перетворення їх у моральні та матеріальні блага.

Життєвий цикл від ідеї до виробництва та експлуатації інноваційного проекту займає не один рік і важливо, щоб даний проект за цей час не втратив своєї актуальності. Для цього на всіх стадіях життєвого циклу проекту застосовують методи технологічного прогнозування. Слід зазначити, що навіть на початкових стадіях потрібно враховувати не тільки технологічні аспекти, а й економічні, ринкові, юридичні, тощо.

Одним із інструментів технологічного прогнозування є патентні дослідження. Такі дослідження проводяться також на всіх стадіях життєвого циклу на основі науково-технічної та патентної інформації. Майже дві третини технічної інформації, що розкривається в патентній інформації, більш ніде не публікується і складає 80% всієї науково-технічної інформації.

Патентний документ – це документ, що містить технічну інформацію, тобто інформацію про результати науково-дослідних, проектно-дослідницьких та інших видів наукової та творчої діяльності, юридичну та комерційну інформацію (опис винаходу, інформацію про власника винаходу, винахідників, термін дії права власності тощо).

Патентні дослідження проводять відповідно до державних стандартів України ДСТУ 3575-97 “Патентні дослідження. Основні положення та порядок проведення” та 3574-97 “Патентний формуляр. Основні положення. Порядок складання та оформлення”. Застосування цих стандартів розробниками нової продукції та технологій при проведенні патентних досліджень є бажаним, а для суб'єктів господарської діяльності, розробки яких фінансуються повністю або частково за рахунок державного бюджету є обов'язковим.

Стандарт ДСТУ 3278—95 “Система розроблення та поставлення продукції на виробництво” регламентує стадії, з яких складається життєвий цикл: дослідження та обґрунтування розробки; розроблення продукції; виробництво продукції; експлуатація (споживання) або застосування продукції.

Існує тісний взаємозв'язок між життєвим циклом продукції та видами робіт під час проведення патентних досліджень, регламентованих ДСТУ 3575—97. Отже такі види робіт, як визначення патентоспроможності та ситуації щодо використання прав на об'єкти промислової власності здійснюються на всіх стадіях життєвого циклу, а виявлення порушення прав власників чинних охоронних документів та заявників на об'єкти промислової власності – тільки на стадії розроблення продукції.

Особливе значення проведення патентних досліджень має на початкових стадіях процесу розроблення і, зокрема, на стадії формування концепції нової продукції, що дозволяє істотно знизити всі види ризиків, а саме уникнути зайвих витрат на дублювання досліджень, знайти готові рішення технологічних проблем, уникнути можливих проблем з порушенням прав власників охоронних документів тощо.

# **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПОСЛЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИОННО-ЛУЧЕВОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ**

С. Н. Селивоненко, асп.

Сумский государственный университет, Сумы

С появлением в современном машиностроении новых, труднообрабатываемых конструкционных материалов встаёт вопрос об инструментальных материалах, обладающих одновременно высокой прочностью, твёрдостью и приемлемой стоимостью. Одним из способов повышения эффективности режущих инструментов является модификация рабочих поверхностей режущих инструментов путем создания на них слоев с особыми свойствами: повышенная поверхностная твердость, износостойкость, пониженный коэффициент трения и др. Однако сложность обеспечения надежной адгезии покрытия к материалу подложки снижает эффективность покрытия, особенно при значительных ударных нагрузках. Традиционные виды покрытий имеют ряд недостатков: изменение геометрических размеров режущих кромок вследствие температурных деформаций, увеличение радиуса округления режущей кромки, высокие поверхностные напряжения, за счет которых удерживается покрытие на поверхности инструмента и которые могут приводить к выкрашиванию режущих кромок. Поэтому наше внимание заинтересовал такой метод модификации поверхностного слоя, как ионно-лучевая имплантация. Преимущество применения пучков заряженных частиц по сравнению с традиционными процессами нанесения покрытий состоит в простоте управления процессом имплантации,

возможности разгонять частицы до практически любой необходимой энергии, чистоте, воспроизводстве и контролируемости параметров этой поверхностной обработки.

Результаты проведённых трибологических испытаний на примере взаимодействия твердосплавного сплава ВК8 со сталью 45 и 12Х18Н10Т показали уменьшение адгезионной составляющей касательных напряжений внешнего трения на передней поверхности имплантированных лезвий по сравнению с неимплантированными и, как следствие, уменьшение зоны пластического контакта, приводящее к уменьшению среднего коэффициента трения, уменьшению силы резания, температуры резания и интенсивности изнашивания лезвия.

Дальнейшие испытания проводились на эксперименте по наружному продольному точению (непрерывному и прерывистому) резцами из твердого сплава Т15К6, имплантируемого ионами азота и аргона при разных режимах (обработка в среде аргона 0,5 часа при  $T=295^{\circ}\text{C}$ , азот – 1 ч,  $T=305^{\circ}\text{C}$ , азот - 2 ч,  $T=600^{\circ}\text{C}$ , плотность тока везде  $I=2\text{мА/см}^2$ ).

В эксперименте измерялись фаска износа  $h_z$ , сила резания, усадка стружки, шероховатость  $R_a$ .

Проведённый анализ полученных в результате эксперимента кривых износа, сил резания, шероховатостей, усадки стружки дало возможность определить область эффективного использования ионной имплантации.

Изучение механизма влияния ионной имплантации на показатели процесса резания возможно с помощью математического моделирования процесса с использованием численных методов.



# **ВИВЧЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИРОДНОЇ ДЕФЕКТНОСТІ СИНТЕТИЧНИХ АЛМАЗІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

В. В. Смоквина, асп.

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля  
НАН України, Київ

В машинобудуванні використовується велика кількість алмазного шліфувального інструмента. Тут характерним є застосування синтетичних алмазів марок АС4 та АС6, що характеризуються невисокою міцністю та певною недосконалістю у вигляді дефектів структури. Певною мірою це є позитивним, адже дозволяє забезпечувати різальну здатність таких зерен за рахунок сколювання та, як наслідок, появи нових різальних кромок.

Разом з тим, багато факторів залишаються поза увагою. А саме, можливість позитивного використання таких здавалося б негативних параметрів як дефектність у вигляді пори, чи домішки металевого включення, що знаходиться у поверхневому шарі зерна алмазу, та їх впливу на зміну контактної взаємодії поверхні зерна НТМ з оброблюваним матеріалом та ін.

Розглянемо можливість ефективного застосування порового параметру. Одним із ефективних застосувань може бути наприклад, доставляння мастила безпосередньо у зону обробки, формування графітної плівки на зерні, збільшення міцності та термостійкості кристалу. Відомо, що змащувально-охолоджуюча рідина може не тільки не ефективно виконувати свої функції, але і витісняється із зони контакту не виконуючи змащувальної дії. Забезпечити змащення можливо застосуванням наноматеріалів триботехнічного призначення шляхом

нанесення певної товщини на поверхню зерен НТМ та у пори зерен. Таким чином тверде мастило, що знаходиться у порах зерна НТМ, буде виконувати свою безпосередню функцію в зоні обробки. Пори алмазу в деяких зернах можуть мати величини, які є більшими за 10 мкм, а глибина цих пор може бути набагато більшою. Враховуючи те, що такі наноматеріали мають значення до 100–200 нм вони є перспективними у їх застосуванні. В процесі шліфування між кругом і деталлю виникають високі градієнти температур, які в свою чергу вносять негативний дію на деталь, зв'язку та різальну поверхню зерен НТМ. Для зменшення цього був застосований метод попереднього впливу плазмовою обробкою на різальну поверхню кругів із НТМ та на контактну поверхню різальних зерен НТМ. Даний метод дозволяє створювати на поверхні плівку, що характеризується малим коефіцієнтом тертя ( $f=0,12$ ), яка в момент різання змащує зону контакту з оброблюваною деталлю, та забезпечувати ефективне змащення та різання.

Іншим шляхом збільшення зносостійкості алмазів є підвищення характеристик міцності та однорідності зернового складу, а також визначенням кількості домішок у кристалах. Домішки поділяються на магнітні – Fe+Ni, Co, Mn, Cr та немагнітні – Mg, Al, Ca, Ti, Cu, Zn, Sn, та визначаються їх загальним вмістом у %. Домішки металевої групи впливають на питому магнітну сприйнятливість  $\chi$ , яка в залежності від кількості домішки коливається від  $\approx 8 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг до  $\approx 15 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/кг. Збільшення домішок магнітної групи сприяє зміцненню кристалу та, відповідно, збільшенню зносостійкості шліфувального інструмента при алмазній електроерозійній обробці.

## **К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ 3D-МОДЕЛИ СПИРОИДНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ**

А. Н. Сорокин, ассист.

Сумский государственный университет, Сумы

Среди большого разнообразия передач, которые используются в современных машинах и механизмах, особую роль занимают зубчатые передачи. Они используются для усиления крутящего момента, изменения направления вращения рабочих органов, преобразования одного вида движения в другой и т. д. В большинстве случаев именно зубчатые передачи определяют правильность работы, надёжность, прочность и долговечность рабочих органов машин.

В настоящее время всё большее применение находит новая разновидность зубчатых передач, называемая спироидной передачей. По расположению зоны зацепления данная передача подобна гипоидной. По технологии изготовления она аналогична червячным цилиндрическим передачам, т. е. изготавливается на обычном зубонарезном оборудовании, а значит является более технологичной по сравнению с гипоидной передачей.

Характер расположения зоны зацепления между звеньями спироидной передачи даёт ряд значительных преимуществ. К их числу можно отнести: уменьшение скорости скольжения за счёт характера расположения его вектора; большие значения передаточных отношений по сравнению с червячными передачами; благоприятно расположенный контакт между витком червяка и зубьями спироидного колеса, который носит теоретически линейный характер.

Большой коэффициент перекрытия, который также обусловлен характером расположения зоны зацепления, способствует: большему распределению нагрузки по зоне зацепления; меньшей чувствительности спироидной передачи к ошибкам изготовления и монтажа; большей бесшумности и плавности работы по сравнению с другими передачами; свойству противостоять ударным и вибрационным нагрузкам.

Кроме вышеперечисленных преимуществ в использовании спироидной передачи присутствует экономический эффект от использования в качестве материала обеих звеньев стали, которая является более дешёвой по сравнению с бронзой. Также использование стали способствует увеличению контактной прочности и прочности на изгиб зубьев. К тому же спироидная передача отличается удобством регулирования бокового зазора в зацеплении и в сравнении с червячными отличается меньшими габаритными размерами.

С развитием компьютерных технологий появляется всё больше возможностей в исследованиях спироидных передач, которые ещё на этапе проектирования позволяют оценить и найти наиболее благоприятные параметры передачи и показатели для её изготовления. На одном из первых этапов исследования встаёт необходимость создания компьютерной 3D-модели спироидного зацепления. Её создание связано с определёнными сложностями, которые заключаются в первоначальном создании моделей звеньев передачи, правильном воспроизведении многопарного зацепления и тем, что спироидная передача имеет пространственный характер. Современные компьютерные технологии помогают решить эти проблемы.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ЧАШИ ДЛЯ ШАРНИРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ЭНДОПРОТЕЗОВ**

С. И. Сташкевич, асп.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля  
НАН Украины, Киев

Наиболее проблемным и в то же время наиболее потребляемым костным имплантатом в хирургии опорно-двигательного аппарата является тазобедренный эндопротез. Как показали исследования, проведенные в ИСМ НАНУ, основные компоненты шарнирного соединения эндопротеза (головку и чашу), целесообразно изготавливать из сапфира и циркониевой керамики. Для этого в отдел №20 ИСМ был приобретен четырехкоординатный экспериментальный стенд на базе универсального фрезерного станка ОММ64.

К шарнирному соединению «головка-чаша» предъявляются высокие требования по износостойчивости и стойкости к циклическим нагрузкам. Точность формы чаши является одной из основных задач и одновременно ставит ряд сложных задач. Чаша имеет четыре поверхности переходящие одна в другую с разными углами наклона снаружи, а внутри - сферическую и конусную поверхности, переходящие одна в другую.

Для решения задачи необходимо создать эффективную программу для станка ОММ64. Для этого технологу необходимо создать 3D модель детали, рассчитать траекторию обработки детали. Эти задачи предлагается решать с помощью системы под названием PowerSHAPE. Это система для обработки изделий со сложной геометрией. Преимуществами системы являются

широкий набор стратегий обработки и быстрый расчет траекторий обработки и мощные средства их редактирования. Траектории обработки можно проверить с помощью модуля симуляции и проанализировать соответствующим постпроцессором для получения управляющей программы для станка с ЧПУ. Сама программа работает на системе, которая основана на технологии визуального программирования. Она заключается в разделении сложных деталей на простые составляющие, для того чтобы быстро рассчитать траекторию алмазной обработки и при этом получить максимально эффективными режимы резания, для конкретной простой части. Затем собрать полученные данные в единую модель, получив при этом полную траекторию алмазной обработки с оптимальными режимами резания для всей детали

И так чтобы получить оптимальную программу для обрабатывающего центра с ЧПУ сначала требуется:

- создать 3D модель ацетабулярной чаши;
- вручную задать параметры обрабатывающего алмазного инструмента, параметры заготовки, свойства обрабатываемого материала;
- разделить модель на простые составляющие;
- собрать полученные данные в единую модель;
- провести компьютерную симуляцию обработки;
- проанализировать полученные данные целью исправления программы;

Таким образом, благодаря возможности разделения сложной модели обрабатываемой детали на простые составляющие, можно значительно облегчить процесс получения траектории алмазной обработки деталей со сложной геометрией. А использование симуляции процесса обработки и его анализ с помощью постпроцессов позволяет сделать алмазную обработку максимально точной.

# **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НОВЫХ СТАНКОВ НА БАЗЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЯЖЕЛОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Т. А. Сукова, асп.

Донбасская государственная машиностроительная  
академия, Краматорск

Специфические особенности тяжелого машиностроения не позволяют механически переносить прогрессивные методы технологии и организации, применяемые в крупносерийном и массовом производствах, на предприятия, производящие различные виды уникальных машин. Предприятия тяжелого машиностроения имеют свои особенности технологического цикла подготовки производства, производства, обработки и сборки, которые обусловлены уникальностью оборудования и технологических процессов обработки на тяжелых станках.

В структуре производства предприятия тяжелого машиностроения все более возрастает доля деталей – тел вращения для современных машин.

Для развития этого производства в настоящее время является необходимым анализ использования тяжелых станков для изготовления деталей современных машин с применением новых инструментов с целью определения требуемых технических характеристик при проектировании новых моделей.

Цель работы – установление параметров станков на основании анализа особенностей деталей современных машин, применения прогрессивных инструментов и оптимизации режимов резания.

Были проведены статистические исследования использования свыше 340 тяжелых станков на 10

предприятиях таких областей как тяжелое машиностроение, турбостроение, судостроение, электромашиностроение, химическое и специальное машиностроения и т.п. Анализ выполнен на основании чертежей деталей, режимов резания и опроса станочников.

В результате исследований создан банк данных, который включает сведения о деталях и технологических операциях: диаметр, длину и вес детали, материал детали, наличие отверстия, наивысшую точность и чистоту обработки, использование задней бабки при установке детали, перечень технологических операций с выделением операций, требующих дополнительной технологической оснастки, а также сведения о режиме резания: глубину резания, подачу, обороты шпинделя, скорость резания, усилие резания, крутящий момент, мощность резания, материал режущей части инструмента.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТАЧИВАНИЯ ДЛИННОМЕРНЫХ КОНИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ**

**А. Н. Типтюк, магистрант**

**Сумский государственный университет, Сумы**

Динамическая устойчивость является одним из важнейших показателей процесса растачивания. Особо остро вопрос обеспечения динамической устойчивости стоит, когда речь заходит о растачивании глубоких отверстий малого диаметра. В последние годы все большее внимание, отечественные и зарубежные специалисты уделяют возможности обрабатывать подобного рода отверстия с высокой точностью и минимальными материальными затратами. Но, несмотря на бурное развитие инструментальной промышленности на сегодня пока не разработан универсальный инструмент, с



помощью которого возможно было бы обрабатывать глубокие отверстия малого диаметра с высокой геометрической и размерной точностью. В связи с этим разработка и создание универсального инструмента для обработки глубоких отверстий малого диаметра является актуальной задачей.

Экспериментальные исследования производились на примере обработки конического отверстия диаметрами 21Н7/50,4Н9 и длиной 216 мм с шероховатостью поверхности не более Ra1.6 в диффузора тепловой машины, именно поэтому требования к точности и качеству поверхности столь высоки. Основной проблемой обеспечения выполнения этих требований являются вибрации, которые создают повышенную шероховатость.

Для обеспечения динамической устойчивости необходимо подобрать такие параметры инструмента и режимы обработки, при которых амплитуда колебаний будет минимальна. Форма и размеры резца ограничены конструктивными особенностями детали. Коническая форма державки обеспечивает максимальную жесткость. Единственным решением по уменьшению амплитуды колебаний является выбор оптимального материала державки.

Практически возможным представляется изготовить державки двух материалов - из конструкционной стали и чугуна. Постоянная времени демпфирования чугуна по сравнению со сталью выше в 10 раз, но сталь имеет в два раза больше модуль упругости, что существенно повышает жесткость.

Были изготовлены два резца с державками из СЧ35 и стали 45 и проведена проверка их работоспособности. Эксперимент заключался в растачивании отверстия с ранее указанными размерами при различных режимах обработки и геометрии инструмента. Обработка производилась на

станке 16K20T1 с режимами резания в диапазонах: подачи от 0,1 до 0,3мм/об, глубины от 0,05 до 0,3мм, частот вращения шпинделя от 250 до 2000об/мин

По результатам эксперимента резец со стальной державкой оказался более устойчив к вибрациям, чем резец с чугунной державкой. Это свидетельствует о том, что при растачивании длинномерных отверстий малого диаметра большее влияние на устойчивость инструмента влияет модуль упругости материала, чем его демпфирующая способность. Даже незначительное смещение режущей вершины вниз вызывает уменьшение заднего угла, и увеличение вертикальной силы, что приводит к возбуждению колебаний.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СОЖ**

А. В. Фесенко, к.т.н., проф., Ю. Н. Любимый, асп.

Национальный технический университет  
“Харьковский политехнический институт”, Харьков

Вопросы повышения производительности и качества шлифования остаются актуальными в настоящее время.

Одним из способов повышения эффективности шлифования является выбор рациональных составов СОЖ и способов их доставки в зону резания.

Определены необходимые условия, при которых происходят наиболее интенсивные физико-химические изменения в СОЖ. Предлагается выполнять активацию СОЖ способом гидродинамической кавитации, используя при этом кинетическую энергию потока в радиальных каналах круга.

Для снижения теплонапряженности процесса резания используются принципы прерывистого шлифования с подачей СОЖ через поры абразивного материала и в промежутки между режущими брусками. Для активации СОЖ непосредственно в зоне резания применяется гидродинамическая кавитация в специальных насадках, установленных в радиальных каналах сборного шлифовального круга.

Для определения параметров насадок, обеспечивающих достаточный уровень кавитации в потоке СОЖ, были проведены экспериментальные исследования на специальном стенде, в результате которых были получены графики и расчетные формулы.

Проверка гидродинамических характеристик на разных скоростях вращения круга и возможность активации СОЖ в радиальных каналах проводились на специальном стенде с автоматизированной системой сбора и обработки данных, с использованием компьютера.

На основании теоретических разработок и полученных экспериментальных данных был спроектирован специальный модуль, включающий в себя корпус, устанавливаемый на шпиндельной бабке станка, сборный шлифовальный круг, закрепленный на шпинделе, две отдельные системы подвода СОЖ под абразивные бруски (сегменты) и в промежутки между ними, а также систему с упругими элементами, для очистки рабочей поверхности шлифовального круга. Такой модуль может быть установлен на различных круглошлифовальных станках и использован для обработки любых материалов и сплавов.

Применение данного сборного шлифовального круга со сменными сегментами позволяет значительно экономить абразивный материал, и обеспечивает

возможность применять бруски с необходимой для данной обработки характеристикой.

Используемая в модуле комбинированная система подвода СОЖ позволяет обеспечить гарантированное попадание ее на рабочую поверхность абразивных сегментов.

Кроме того, круги такой конструкции позволяют при необходимости регулировать расход СОЖ через каналы, отключать их, подключать по отдельности, подключать оба не останавливая процесс обработки.

Применение предлагаемого модуля на шлифовальных станках обеспечивает процесс мелкодисперсного перемешивания СОЖ, интенсификацию химико-физических процессов, происходящих в СОЖ и зоне резания, активно очищать поверхность абразивного элемента от засаливания, повышать охлаждающее, смазывающее, смачивающее и другие воздействия, что в целом приводит к повышению производительности, качества обработки и стойкости режущего инструмента.

## **СПОСОБ КОМБИНИРОВАННОГО УПРОЧНЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

М. В. Шаповалов

Донбасская государственная машиностроительная  
академия, Краматорск

Одной из наиболее перспективных технологий улучшения эксплуатационных свойств изделий, применяемых в различных областях техники, является обработка импульсным магнитным полем (ОИМП).

Одной из последних разработок, запатентованных на кафедре, является технология упрочнения режущего

инструмента и деталей машин при обеспечении повышенной износостойкости изделий и низкого уровня остаточных напряжений и дефектов.

С целью устранения остаточных напряжений и дефектов от температурного воздействия на изделие, которое приводит к уменьшению прочности, после нанесения износостойкого покрытия на поверхности изделия, его подвергают обработке импульсным магнитным полем. При нанесении покрытия инструмент или деталь подвергается нагреванию, которое приводит к изменению структуры и образованию остаточных напряжений. Обработка импульсным магнитным полем после нанесения покрытия уменьшает карбидную неоднородность, уровень остаточных напряжений, устраняет дефекты структуры материала изделий.

Результаты теоретических исследований подтверждены результатами сравнительных лабораторных исследований на стойкость токарных резцов обработанных и не обработанных ОИМП.

Режимы обработки магнитно-импульсным полем оптимизированы по стойкостному критерию:

- импульсное напряжение в соленоиде – 1000 В;
- частота ОИМП – 3 Гц ;
- продолжительность ОИМП – 5 мин;
- продолжительность размагничивания – 30 с;

В результате исследований выявлено, что стойкость пластин Т5К10+Ti с последующим воздействием ОИМП повышена 23%, а также снизился коэффициент вариации стойкости с 0,31 до 0,23, что свидетельствует о повышении стабильности свойств твердого сплава.

В настоящее время проводятся исследования совместно с «Институтом сверхтвердых материалов» НАН Украины по изучению влияния импульсного магнитного поля на структуру твердых сплавов методом мультифрактального анализа материалов.

# **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОПИТУ ОБ'ЄКТІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ В СФЕРІ МАШИНОБУДУВАННЯ**

О. Я. Юрчишин, к.т.н., ст. викл., К. А. Весельська, магістрант  
Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”, Київ

На сучасних промислових підприємствах у наукових установах та провідних університетах України накопичено великий обсяг результатів виробничої і наукової діяльності, які ідентифікуються як об'єкти інтелектуальної власності (ОІВ) і являють собою комерційну цінність не лише для споживачів інтелектуального продукту України, а і широкого кола закордонних фахівців у галузі машинобудування. Тому розробка ефективних методів комерціалізації ОІВ в сфері машинобудування є актуальною науковою проблемою.

Нами розглядалися об'єкти науково-технічної інформації, які розроблені в науково-виробничих комплексах «вищий навчальний заклад – конструкторське бюро - машинобудівне підприємство». Одним із основних аспектів комерційних операцій з об'єктами інтелектуальної власності є вивчення попиту і пропозиції на інтелектуальний продукт.

Попит є функцією багатьох факторів і визначається функціональною залежністю:

$$Q_d = f(P, I, Z, W, P_{sub}, P_{com}, N, B)$$

де  $Q_d$  - попит;  $P$  - ціна;  $I$  - дохід;  $Z$  - смаки;  $W$  - очікування;  $P_{sub}$  - ціна на товари-замінники;  $P_{com}$  - ціна на доповнюючі товари;  $N$  - кількість покупців;  $B$  - інші чинники.

Крива попиту має певні характерні особливості. Типовим є обернено-пропорційна залежність між ціною та обсягом продукту:

$$P_0 = C/Q, \quad (1)$$

де  $C$  – деяка константа.

Для побудови математичних моделей функцій попиту і пропозиції також використовують гладкі аналітичні залежності у вигляді поліномів. При цьому функція попиту є спадаючою.

Особливості об'єкту інтелектуальної власності, який підлягає комерціалізації полягають в унікальності окремого об'єкта. Тому і ціна і обсяг продукту можуть змінюватись різним чином. Відмінність фактичної кривої попиту від типової кривої (1) може полягати у певних змінах кривої.

Практично важливим є опис кривої попиту у вигляді функції Гауса:

$$P_6 = P_0 \cdot e^{\frac{(Q - Q_{01})}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

де  $P_0$  - амплітудне значення кривої в області локального максимуму, що характеризується значенням обсягу інтелектуального продукту  $Q_{01}$ ;  $\sigma$  - параметр що характеризує ширину області локального максимуму.

Як правило, криві попиту включають базову залежність, відповідну формулі (1) із додатковими складовими, зокрема, у вигляді кривої Гауса (2).

Для математичного моделювання попиту на інтелектуальні продукти доцільно використати суперпозицію гладких залежностей та залежностей для опису особливих ділянок кривої попиту. При цьому особливі ділянки будуть описані нелінійними гладкими або розривними залежностями, які можуть включати ступінчаті або імпульсні функції та випадкові процеси.

## ЗМІСТ

<b>Барабаш Г.С., Антонюк В.С.</b> Вплив електроіскрового легування на топографію зміцненої поверхні .....	3
<b>Барандич К.С., Вислоух С.П.</b> Методика визначення раціональних режимів обробки конструкційних матеріалів .....	5
<b>Басова А.Г.</b> Влияние скорости и температуры частиц напыляемого материала на получение покрытий газоплазменным напылением порошков .....	7
<b>Білявський М.Л.</b> Розробка машин на базі двигуна внутрішнього згорання для когенерації теплової та електричної енергії .....	9
<b>Білявський М.Л., Шахбазов Я.О.</b> Спосіб нарізання зовнішніх та внутрішніх різьб в деталях з важкооброблюваних матеріалів .....	12
<b>Вакуленко С.В.</b> Дослідження впливу пружних параметрів різцетримача на стійкість динамічної системи верстата під час різання.....	15
<b>Ванісв Е.Р., Бесарабець Ю.І., Скриннік П.В.</b> Вопросы методологии исследования влияния СОТС на процесс резания.....	17
<b>Вишнепольський Є.В.</b> Повышение прочностных характеристик поверхности сопряжения отверстия и тонкостенного вала газотурбинного двигателя (ГТД)....	19
<b>Внуков Ю.М., Степанов Д.Н.</b> Шероховатость поверхностей титановых образцов после обработки полимерно-абразивным инструментом.....	21
<b>Водолазська Н.В., Мазніченко О.А.</b> Анализ технологических характеристик механизмов перемещения грузов.....	23
<b>Водолазська Н.В., Шевченко Д.А.</b> Проблема повышения долговечности деталей машин, эксплуатируемых в агрессивных средах.....	25



<b>Волошко О.В., Вислоух С.П.</b> Методика визначення оброблюваності конструкційних матеріалів «неруйнівними» методами .....	27
<b>Гарін А.В.</b> Математическая формализация структур конструкционных материалов .....	29
<b>Голобородько Л.В., Некрасов С.С.</b> Экспериментальное исследование кинетики радиуса округления режущей кромки концевой фрезы .....	31
<b>Гонищук А.В., Залога В.О., Лагута Г.Г.</b> Кваліметричне оцінювання ефективності схем суперфінішування шийок великогабаритних колінчастих валів .....	32
<b>Грушко А.В., Ростоцький І.Ю.</b> Моделирование процесса упрочнения поверхностного слоя заготовки методом конечных элементов при деформирующем протягивании .....	34
<b>Гусев В.В., Медведев А.Л.</b> Зависимость режущей способности алмазного шлифовального круга от прочности связующей среды при управляющем воздействии свободным абразивом .....	36
<b>Демченко М.О., Філіппов О.В., Філіппова М.В.</b> До питань розробки автоматизованих систем технологічного проектування .....	38
<b>Денисюк В.Ю.</b> Дослідження зв'язків мікрогеометричних параметрів доріжок кочення з параметрами вібрацій в роликотідишниках .....	40
<b>Девницький О.А.</b> Дослідження електризації при абразивній обробці кругами з НТМ із включеннями та покриттям .....	42
<b>Діордіца А.М., Діордіца І.М., Вислоух С.П.</b> Автоматизированная система обеспечения заданной точности обработки ступенчатых валов .....	44
<b>Євтухов В.Г., Кушніров П.В., Євтухов А.В., Кисиленко К.С.</b> Идентификация обобщенной характеристики замкнутой Т-системы круглого врезного шлифования .....	46

<b>Єрьомін П.М., Чернявський О.В., Гречка А.І.</b> Розширення технологічних можливостей комбінованого протягування отворів в деталях з малопластичних металів .....	48
<b>Заблоцький В.Ю.</b> Вдосконалення технології оброблення кілець підшипників на токарному автоматі моделі 16265П-6К .....	50
<b>Засць С.С., Шевченко В.В.</b> Система діагностування процесу фрезерної обробки на багатофункціональних верстатах .....	52
<b>Залога В.О., Івченко О.В., Динник О.Д.</b> Розробка методу комплексного оцінювання ефективності системи управління якістю заготівельного виробництва .....	54
<b>Залога В.О., Івченко О.В., Погоржельська Ю.О.</b> Управление затратами на качество инструментальной подготовки машиностроительного производства .....	56
<b>Залога В.О., Івченко О.В., Удод Н.М.</b> Порівняльне дослідження нормативного забезпечення оцінювання якості ґрунтів в Україні та країнах ЄС .....	58
<b>Залога О.О.</b> Методические особенности экспериментального определения параметров модели трения при резании .....	60
<b>Іванов В.О., Карпуть В.Є.</b> Сучасні CAFD-системи у машинобудуванні та перспективи розвитку .....	62
<b>Іззєтов Н.А., Волков М.О.</b> Пути расширения технологических возможностей и точности обработки хонинговальных станков .....	65
<b>Кальченко В.І., Кальченко В.В., Кологойда А.В.</b> Особливості процесу заточки голок валків чесальних машин зі схрещеними осями інструмента та деталі .....	67
<b>Карпуть В.Є., Іванова М.С.</b> Конструктивно- технологічний аналіз обробки отворів комбінованими осьовими інструментами .....	69

<b>Катрук О.В., Вислоух С.П.</b> Дослідження віброакустичного сигналу процесу фрезерної обробки.....	71
<b>Кириченко А.М., Зайка С.М.</b> Точність верстатів з плоскими механізмами паралельної структури .....	73
<b>Кутовий М.П.</b> Застосування імітаційного моделювання для перевірки результатів процесу нарізання торцевих канавок.....	75
<b>Лавріненко В.І., Пасічний О.О., Петасюк Г.А., Смоквина В.В.</b> До питання 3D–моделювання шорсткого шару поверхні після шліфування кругами із НТМ .....	77
<b>Ланіза О.С., Вислоух С.П.</b> Модуль автоматизованого проектування технології обробки деталі на основі стандартів STEP.....	79
<b>Ларшин В.П., Ліщенко Н.В., Саліх Алі Хамід.</b> Адаптивное управление для станков с ЧПУ.....	81
<b>Ларшин В.П., Марчук І.В.</b> Моделювання процесу безцентрового шліфування кілець роликотіпшипників для керування якістю формоутворення.....	83
<b>Логомінов В.А., Внуков Ю.М.</b> Прогнозирование шероховатости поверхности при фрезеровании нежестких деталей .....	85
<b>Мазур М.П., Мешишин А.І.</b> Проблеми математичного моделювання процесів стружкоутворення при різанні .....	86
<b>Марчук В.І., Клепацький Г.В.</b> Віброакустичне діагностування підшипників кочення на етапах виготовлення та експлуатації .....	91
<b>Марчук В.І., Пташенчук В.В.</b> Підвищення продуктивності та точності процесу торцешліфування за рахунок вибору раціональної структури різального інструмента .....	92

<b>Марчук В.І., Чалий В.Д., Мережа В.В.</b> Дослідження впливу параметрів процесу шліфування на формування мікронерівностей робочих поверхонь кілець роликопідшипників.....	94
<b>Матюха П.Г., Бурдин О.В.</b> Определение силы поджима комбинированного образца к режущей поверхности круга, ограниченной температурой плавления припоя.....	96
<b>Мельник В.Є., Соловей О.В., Хмельницька К.І.</b> Інструмент для обробки складно профільних поверхонь .....	98
<b>Мережаний Ю.Г., Антонюк В.С.</b> Система фільтрації приточного повітря в виробничих приміщеннях прецизійного складального виробництва .....	100
<b>Міненко Д.О., Ніколасв Я.Ю.</b> Особенности назначения режимов резания при гравировании .....	102
<b>Михалевич В.Т., Решетило А.Ю., Дем'янова І.В.</b> Вплив динамічних похибок на точність систем активного контролю.....	104
<b>Музиченко В.В., Новік М.А.</b> Стенд для визначення сили затиску інструмента (деталі) само гальмуючою затискною втулкою .....	106
<b>Некрасов С.С.</b> Оптимизация радиуса округления режущей кромки монолитных твердосплавных концевых фрез.....	108
<b>Нешта А.А., Кушніров П.В.</b> Повышение точности настройки фрез для обработки плоских поверхностей.....	109
<b>Павленко І.І., Годунко М.О.</b> Оцінка точності положення утримуваної деталі в захватному пристрої робота.....	111
<b>Проволоцький О.Є., Лапшин П.С.</b> Абразивная обработка деталей машин.....	113
<b>Проволоцький О.Є., Моheb М.</b> Технологические основы комбинированных процессов .....	115

<b>Равська Н.С., Охріменко О.А., Забара Т.В.</b> Деякі питання визначення товщини зрізу багатозубих інструментів .....	117
<b>Резніченко С.М.</b> Математическое моделирование процесса резания титанового сплава ВТ-22.....	119
<b>Ромашов Д.В., Бабенко Е.А., Федоренко Д.О.</b> Моделирование путей повышения эффективности алмазного инструмента.....	122
<b>Руденко М.А.</b> Роль патентних досліджень при розробленні нового продукту .....	124
<b>Селівоненко С.М.</b> Повышение эффективности твердосплавного режущего инструмента после применения ионно-лучевой имплантацией.....	126
<b>Смоквина В.В.</b> Вивчення можливостей застосування природної дефектності синтетичних алмазів для підвищення їх експлуатаційних характеристик.....	128
<b>Сорокін А.М.</b> К вопросу о создании 3D-модели спироидного зацепления.....	130
<b>Сташкевич С.І.</b> Повышение эффективности обработки чаши для шарнирного соединения эндопротезов .....	132
<b>Сукова Т.А.</b> Определение рациональных технических параметров новых станков на базе статистических исследований предприятий тяжелого машиностроения .....	134
<b>Тіптюк А.Н.</b> Исследование растачивания длинномерных конических отверстий .....	135
<b>Фесенко А.В., Любимий Ю.М.</b> Повышение эффективности шлифования при гидродинамической обработке СОЖ.....	137
<b>Шановалов М.В.</b> Способ комбинированного упрочнения режущего инструмента и деталей машин .....	139
<b>Юрчишин О.Я., Весельська К.А.</b> Математичне моделювання характеристик попиту об'єктів інтелектуальної власності в сфері машинобудування..	141

Наукове видання

**“МАШИНОБУДУВАННЯ УКРАЇНИ  
ОЧИМА МОЛОДИХ:  
прогресивні ідеї – наука – виробництво”  
(26 – 30 жовтня 2010 року, м. Суми)**

Тези доповідей  
*Десятої всеукраїнської молодіжної  
науково-технічної конференції*

Відповідальний за випуск В.О. Залога  
Укладачі: Д.В. Криворучко, В.О. Іванов  
Комп’ютерне верстання В.О. Іванова

Стиль та орфографія авторів збережені.

Підп. до друку 25.10.2010 р.  
Формат 60х84/16. Ум. друк. арк. 8,60 Обл.-вид. арк. 5,77 Тираж 60 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007  
Свідцтво суб’єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.